

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

СЕВЕРНЫЙ (АРКТИЧЕСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ
ЗАВЕДЕНИЙ

Лесной журнал

Научный журнал

Основан в 1833 г.

Издается в серии ИВУЗ с 1958 г.

Выходит 6 раз в год

2/326

2012

ИЗДАТЕЛЬ – СЕВЕРНЫЙ (АРКТИЧЕСКИЙ)
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА

Главный редактор – д-р техн. наук, проф. **В.И. МЕЛЕХОВ**

Заместители главного редактора – д-р с.-х. наук, проф. **Н.А. БАБИЧ**,

д-р хим. наук **К.Г. БОГОЛИЦЫН**

Ответственный секретарь – засл. работник культуры РФ **Р.В. БЕЛЯКОВА**

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

д-р биол. наук, проф. **В.П. БЕССЧЕТНОВ**; д-р техн. наук, проф. **П.В. БИЛЕЙ**; д-р техн. наук, проф. **А.В. ВОРОНИН**; д-р техн. наук, проф. **Е.Д. ГЕЛЬФАНД**; д-р с.-х. наук, проф. **С.В. ЗАЛЕСОВ**; д-р техн. наук, проф. **А.А. КАМУСИН**; д-р экон. наук, проф., акад. РАСХН **Н.И. КОЖУХОВ**; д-р биол. наук, проф. **И.Т. КИЩЕНКО**; д-р техн. наук, проф. **В.С. КУРОВ**; д-р техн. наук, проф. **В.И. МАЛЫГИН**; д-р с.-х. наук, проф. **Р.Н. МАТВЕЕВА**; д-р с.-х. наук, проф. **М.Д. МЕРЗЛЕНКО**; д-р техн. наук, проф. **Д.Г. МЯСИЩЕВ**; д-р с.-х. наук, проф. **Е.Н. НАКВАСИНА**; д-р техн. наук, проф. **А.Н. ОБЛИВИН**; д-р техн. наук, проф. **В.И. ОНЕГИН**; д-р техн. наук, проф. **Е.А. ПАНФИЛОВ**; д-р с.-х. наук, проф. **Е.М. РОМАНОВ**; д-р биол. наук, проф., чл.-кор. РАСХН **М.В. РУБЦОВ**; д-р техн. наук, проф. **В.Г. САНАЕВ**; д-р биол. наук, проф. **А.В. СЕЛИХОВКИН**; д-р техн. наук, проф. **В.В. СЕРГЕЕВИЧЕВ**; д-р с.-х. наук, проф. **А.М. ТАРАКАНОВ**; д-р техн. наук, проф. **Б.Н. УГОЛЕВ**; д-р техн. наук, проф. **Ф.Х. ХАКИМОВА**; д-р с.-х. наук, проф. **В.Л. ЧЕРНЫХ**; д-р техн. наук, проф. **Ю.А. ШИРИН**; проф. **Х.-Д. ЭНГЕЛЬМАНН**.

«Лесной журнал» публикует научные статьи по всем отраслям лесного дела, сообщения о внедрении законченных исследований в производство, о передовом опыте в лесном хозяйстве и лесной промышленности, информацию о научной жизни высших учебных заведений, рекламные материалы и объявления. Предназначается для научных работников, аспирантов, инженеров лесного хозяйства и лесной промышленности, преподавателей и студентов.

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ
«ЛЕСНОЙ ЖУРНАЛ» № 2/326

Подписной индекс 70368

Компьютерная верстка А.Г. Поповой
Перевод В.Л. Рымашевского

Сдан в набор 27.02.2012. Подписан в печать 12.04.2012. Заказ № 417.
Форм. бум. 70×108 1/16. Гарнитура Таймс. Ус. печ. л. 12,775. Усл. кр.-отг. 12,775.
Уч.-изд. л. 17,259. Тираж 1000. В розничную продажу не поступает.
Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

Адрес редакции: 163002, г. Архангельск, наб. Сев. Двины, 17,
тел./факс: 8(818-2) 28-76-18
e-mail: forest@agtu.ru forest@narfu.ru http://www.lesnoizhurnal.ru

Свидетельство о регистрации средств массовой информации ПИ № ФС77-45647 от 05.07.2011.
Отпечатано с готового оригинал-макета
в Издательско-полиграфическом центре им. В.Н. Булатова
ФГАОУ ВПО САФУ
163002, г. Архангельск, ул. Урицкого, 56

 СОДЕРЖАНИЕ

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

<i>Сурсо М.В., Барзут О.С.</i> Можжевельники Пятигорья и Приэльбрусья: краткая морфологическая характеристика и особенности роста	7
<i>Тарасов П.А.</i> Оценка влияния смены сосны березой на свойства почв в условиях Приангарья	14
<i>Колмогорова Е.Ю., Кайдорина В.А., Неверова О.А.</i> Морфофизиологическая оценка состояния березы повислой в условиях действия выбросов автотранспорта	20
<i>Лобанов А.И., Вараксин Г.С.</i> Влияние способа посадки и микрорельефа на рост и состояние вяза приземистого в полезащитных лесных полосах сухостепной зоны Хакасии	28
<i>Сергиенко В.Г., Соколова О.И.</i> Динамика живого напочвенного покрова и естественное лесовозобновление на вырубках	35
<i>Мазуркин П.М.</i> Закономерности разновозрастного сосняка по диаметру стволов для рубок поколений деревьев	42
<i>Бабич Н.А., Гельфанд Е.Д., Мелехов В.И., Клевицов Д.Н.</i> Возрастное изменение показателей надземной фитомассы культур сосны северной подзоны тайги	50
<i>Овсянникова Н.В., Феклистов П.А., Худяков В.В., Третьяков С.В., Мерзленко М.Д., Гельфанд Е.Д.</i> Влажность древесины деревьев ели в черничном типе леса	53
<i>Бессчетнов В.П., Бессчетнова Н.Н.</i> Селекционная оценка плюсовых деревьев сосны обыкновенной методами многомерного анализа	58

ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

<i>Шегельман И.Р., Васильев А.С., Лапатын А.Ю.</i> Анализ процесса групповой окорки при положительной и отрицательной температурах	65
<i>Старжинский В.Н., Гагарин Д.Р.</i> К расчету звуковой мощности оборудования лесного комплекса с ударными нагрузками	70
<i>Морозов В.С., Беляев И.Н.</i> Оценка и моделирование сортовых характеристик сухостойных стволов ели обыкновенной, произрастающей на территории Архангельской области.	75

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

<i>Агеев С.П., Дерягин Р.В., Копейкин А.М., Богданович Н.И.</i> Вероятностное описание показателей энергоиспользования лесопильных рам	83
<i>Мюллер О.Д., Малыгин В.И., Любов В.К.</i> Влияние параметров технологического оборудования на качественные показатели древесных гранул	90
<i>Прокофьев Г.Ф., Гельфанд Е.Д., Ульяновский И.Е.</i> Возможность применения ленточного полиспада в грузоподъемных механизмах лесопромышленного комплекса	99
<i>Пономарев О.С., Гиндулин И.К., Юрьев Ю.Л.</i> Брикетирование некондиционного древесного угля	103
<i>Архипов А.С., Лапшин Ю.Г., Тулузаков Д.В.</i> Прочность древесно-стружечных плит в мебельных конструкциях	106
<i>Суровцева Л.С., Старкова А.В., Турушев В.Г., Копейкин А.М., Земцовский А.Е.</i> Анализ оценки качества экспортных пиломатериалов различных стандартов	112

ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

<i>Куров В.С., Тихонов Ю.А.</i> Турбулентный ротор повышает эффективность сортирования макулатурной массы	117
---	-----

<i>Мальцев Г.И., Радионов Б.К., Вершинин С.В.</i> Исследование реологических свойств волокнистых суспензий	122
<i>Почтовалова А.С., Шultzина Е.В., Боголицын К.Г., Соболева Т.В.</i> Характеристика содержания лигнинных веществ и химического потребления кислорода в воде р. Северная Двина в зоне влияния сточных вод ОАО «Архангельский ЦБК»	127
<i>Панфилова М.В., Косяков Д.С., Горбова Н.С., Боголицын К.Г.</i> Константы кислотности синрингильных фенолов в смесях воды с диметилсульфоксидом и N,N-диметилформамидом	134

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

<i>Иванченко Н.Л., Шкаев А.Н., Шкаева Н.В., Боголицын К.Г.</i> Характеристика эффектов сольватации модельных соединений структурного звена лигнина в водно-этанольных средах с применением метода вольтамперометрии	140
---	-----



 CONTENTS

FORESTRY

<i>Surso M.V., Barzut O.S.</i> Morphological characteristics and growth peculiarities of juniper species at the Pyatigorsk-Elbrus area	7
<i>Tarasov P.A.</i> Evaluation of pine-birch succession effect on the soil properties in the Angara river area	14
<i>Kolmogorova E.Y., Kaydorina V.A., Neverova O.A.</i> Morphophysiological assessment indices of the woody plants sustainability and pollution of air in Kemerovo	20
<i>Lobanov A.I., Varaksin G.S.</i> Effect of seeding method and microtopography on vegetation and condition of Siberian elm stands in shelter forest belts of arid steppe zone of Khakassia	28
<i>Sergiyenko V.G., Sokolova O.I.</i> Dynamics of ground vegetation cover and natural reforestation in the cut-over areas	35
<i>Mazurkin P.M.</i> Partition law of tree diameters in multiple-aged pine stand for selective felling	42
<i>Babich N.A., Gelfand E.D., Melekhov V.I., Klevtsov D.N.</i> Age variability of superterranean phytomass indices of the homogeneous Scots pine stands in the Northern boreal subzone.	50
<i>Ovsyannikova N.V., Feklistov P.A., Hudyakov V.V., Tretyakov S.V., Merzlenko M.D., Gelfand E.D.</i> Moisture of wood in the Spruce trees at a whortleberry type forest.	53
<i>Beschetnov V.P., Beschetnova N.N.</i> Scots pine elite trees selective estimation by means of multivariate analysis method.	58

WOODEXPLOITATION

<i>Shegelman I.R., Vasiliev A.S., Lapatin A.Y.</i> Analysis of grouped debarking process at positive and negative temperatures	65
<i>Starzhinskiy V.N., Gagarin D.R.</i> Sound pressure dimensioning of a forest complex machinery undergoing impact loads	70
<i>Morozov V.S., Belyaev I.N.</i> Evaluation and modeling of dehumidificated drying Spruce trees characteristics at Arkhangelsk Region	75

MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOODSCIENCE

<i>Ageev S.P., Deryagin R.V., Kopeykin A.M., Bogdanovich N.I.</i> Probabilistic description of the gang-sawing machines energy consumption factors	83
<i>Mueller O.D., Malygin V.I., Lubov V.K.</i> Effect of technological equipment parameters on wood pellets quality factors	90
<i>Prokofiev G.F., Gelfand E.D., Ulyanovskiy I.E.</i> Application possibility of a band tackle block in a hoisting apparatus of wood processing machines.	99
<i>Ponomaryov O.S., Gindulin I.K., Yuriev Y.L.</i> Efficiency of charcoal briquets production	103
<i>Arkhipov A.S., Lapshin Y.G., Tuluzakov D.V.</i> Durability of wood particle board in furniture structural units.	106
<i>Surovtseva L.S., Starkova A.V., Turushev V.G., Kopeykin A.M., Zemtsovskiy A.E.</i> Various grading standards analysis of export sawn timber quality assessment	112

CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD

<i>Kurov V.S., Tikhonov J.A.</i> Turbulent rotor to increase effectiveness of mackle paper mass sorting . .	117
<i>Maltsev G.I., Radionov B.K., Vershinin S.V.</i> Analysis of rheological properties of asbestos suspension	122

- Pochtovalova A.S., Shulgina E.V., Bogolitsyn K.G., Soboleva T.V.* Characteristics of lignine substance content and chemical oxygen demand in the Severnaya Dvina River water at the area of Arkhangelsk Pulp&Paper Mill wastewater impact. 127
- Panfilova M.V., Kosyakov D.S., Gorbova N.S., Bogolitsyn K.G.* Acidity constants of syringil phenols in admixtures of water with dimethyl sulfoxide and N,N dimethyl formamide. 134

SUMMARIES AND EXCHANGE OF TEACHING

- Ivanchenko N.L., Shkayev A.N., Shkayeva N.V., Bogolitsyn K.G.* Comparison characteristics of solvation effects of structural lignine link model compounds in water-ethanol medium 140
-
-



УДК 581.4:581.5:582.4

М.В. Сурсо¹, О.С. Барзут²¹ Институт экологических проблем Севера УрО РАН² Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

Сурсо Михаил Вольдемарович, родился в 1961 году. В 1983 году окончил лесохозяйственный факультет Архангельского лесотехнического института. Кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института экологических проблем Севера УрО РАН. Имеет 50 научных работ. Область научных исследований – эмбриология, анатомия и морфология голосеменных, генетика популяций, лесное семеноведение.

E-mail: surso@iepn.ru



Барзут Оксана Степановна, родилась в 1967 году. В 1989 году окончила лесохозяйственный факультет Архангельского лесотехнического института. Кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель Поморского государственного университета. Имеет 23 научные работы. Область научных исследований – экология и биология хвойных видов.

E-mail: steblik@atknet.ru



МОЖЖЕВЕЛЬНИКИ ПЯТИГОРЬЯ И ПРИЭЛЬБРУСЬЯ: КРАТКАЯ МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ОСОБЕННОСТИ РОСТА*

Изучены особенности морфологии северокавказских видов можжевельника: обыкновенного (*Juniperus communis* L.) и казацкого (*J. sabina* L.). Выполнен дендрохронологический анализ можжевельника обыкновенного, произрастающего в Баксанском ущелье (*J. communis* L. ssp. *oblonga* (Bieb.) Galushko) и на южных склонах горы Бештау (*J. communis* L. ssp. *hemisphaerica* (J. et C. Presl) Nym.).

Ключевые слова: можжевельник, Северный Кавказ, морфологические признаки, дендрохронологический анализ.

Изучение особенностей морфологии и динамики радиального роста северокавказских видов можжевельника выполнялось в рамках комплексной экспедиции, организованной и проведенной в декабре 2010 года Институтом экологических проблем Севера УрО РАН при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. В районе Кавказских Минеральных Вод (юго-восточное Приэльбрусье и Пятигорье) при обследовании сохранившихся природных биоценозов обнаружено два вида естественно произрастающих здесь можжевельников: можжевельник обыкновенный (*Juniperus communis* L.) и можжевельник казацкий (*J. sabina* L.). У можжевельника обыкновенного выявлены два подвида (формы): *J. communis* L. ssp. *oblonga* (Bieb.) Galushko и *J. communis* L. ssp. *hemisphaerica* (J. et C. Presl) Nym. Некоторые авторы [7] воспринимают эти подвиды (формы) как самостоятельные виды, соответственно, *J. oblonga* Bieb. и *J. hemisphaerica* J. et C. Presl. И.Н. Имханицкая [3] описывает их как подвиды обыкновенного можжевельника *Juniperus communis* L. В англоязычной литературе упоминания о них как о самостоятельных таксонах, отсутствуют [8]. Кроме вышеуказанных видов, Паллас, в 1799 году упоминал о произрастании на сухих щебнистых склонах в ниж-

* Исследования выполнены при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты № 09-04-00371-а, № 10-04-10125-к).

© Сурсо М.В., Барзут О.С., 2012.

нем и среднем горных поясах в районе нынешнего Кисловодска *J. oxycedrus* L. [6]. Нами этот восточно-средиземноморский (понтическо – южно-сибирский) вид можжевельника обнаружен здесь не был.

J. communis ssp. *oblonga* описан нами для района юго-восточного Приэльбрусья (Баксанское ущелье, 1460–1490 м над у.м.). Здесь же были взяты модели для дендрохронологического анализа. Взрослые растения представляют собой довольно крупные (4–6 м) кустарники (рис. 1), произрастающие на относительно пологих открытых участках между р. Баксан и горными склонами, поросшими сосной Коха (*Pinus sylvestris* L. ssp. *kochiana* Klotsch.). Сформировавшиеся однолетние побеги золотисто-желтовато-светло буроватые, трехгранные, в углах граней расположены цилиндрические каналы, заполненные смолистыми веществами. Двух- и трехлетние побеги коричневато-буроватые, также трехгранные, с цилиндрическими каналами в углах граней. Побеги старших возрастов серовато-буроватые, на поперечных срезах б.м. округлые. Хвоя по три в мутовках, отстоящая под углом 40–80°, слегка серповидно изогнутая, длиной 12–17 мм, шириной 1,2–1,8 мм



Рис. 1. Можжевельники Северного Кавказа (вверху: слева – *Juniperus communis* L. ssp. *oblonga* (Vieb.) Galushko, Баксанское ущелье, национальный парк «Приэльбрусье», справа – *Juniperus communis* L. ssp. *hemisphaerica* (J. et C. Presl) Nym., Пятигорье, гора Бештау, скала «Пронеси, господи!»; внизу – *Juniperus sabina* L., Баксанское ущелье, окраина села Верхний Баксан)

(за исключением случаев тератогенеза), длинно шлемовидно-заостренная, сверху с широкой (0,5 ширины листа) беловато-зеленоватой полосой почти во всю длину, разделенной посередине узкой жилкой, снизу с выраженным широким килем, также почти во всю длину листа. Зрелые «шишкоягоды» темно-синие или иссиня-черные, с тремя хорошо заметными рубчиками от сросшихся семенных чешуй почти во всю длину «шишкоягоды». Рубчики от стигматов на верхушке «шишкоягод» почти незаметны. В молодых шишках (в норме) по три семяпочки, в зрелых «шишкоягодах» в среднем по 2,7 семени (таблица). Качество семян низкое (количество выполненных семян составляет, в среднем, 5,3%), что, впрочем, характерно для южных популяций *J. communis*.

Единичные экземпляры *J. communis* ssp. *hemisphaerica* были обнаружены на южном склоне горы Бештау, на высоте около 1000 м над у.м. Здесь также были взяты модели для дендрохронологических исследований. Растения произрастают на труднодоступных трахилепоритовых скалах и представляют низкорослые (до 0,5–0,8 м) кустарники стланиковой формы роста (рис. 1).

«Плодоносящих» женских особей этого подвида здесь нами обнаружено не было. Морфологически этот подвид (форма) отличается от предыдущего лишь габитуально. Хвоя у него более темного цвета, длинно-шлемовидно-, иногда остевидно-заостренная, почти прямая, чуть короче (11–15 мм) и уже (1,1–1,6 мм). Побег более густо охвоенные, с более короткими междоузлиями. По анатомическому строению хвоя северокавказских форм можжевельника обыкновенного (f. *oblonga* и f. *hemisphaerica*) ближе к сибирскому морфотипу (*J. communis* f. *sibirica* = *J. sibirica*): на поперечных срезах она часто скобообразной формы и имеет более развитые, по сравнению с f. *typica* механические ткани.

J. sabina описан для юго-восточного Приэльбрусья (окраина села Верхний Баксан, 1520 м над у.м.). Растения произрастают на довольно крутых осыпающихся щебенистых склонах левого берега р. Баксан и представляют собой низкорослые стланиковые кустарники, образующие густые заросли подушкообразной формы (рис. 1). Сформировавшиеся молодые побеги зеленого цвета, покрыты мелкой чешуевидной черепитчато налегающей хвоей, четырехгранные, в углах двух противоположных граней расположены цилиндрические каналы, заполненные смолистыми веществами со специфическим запахом. Побег старших возрастов светло буровато-коричневые, на поперечных срезах б.м. округлой формы. Микростробилы мелкие, овальной формы (3,0–3,5x1,5–2,0 мм), желтовато-коричневатые, расположены на концах побегов текущего года второго-третьего порядков ветвления. «Шишкоягоды» синего цвета, диаметр их чуть больше длины (таблица), на довольно длинных (1,5–3,0 мм), слегка изогнутых «плодоножках» зеленого цвета, с четырьмя мало заметными рубчиками от сросшихся семенных чешуй. В каждой женской шишке изначально начинает развиваться по четыре семяпочки. Ко времени созревания «шишкоягод» в каждой из них остается, в среднем, по 2,8 семени, которые, к тому же, довольно часто плотно срастаются между собой. Качество семян крайне низкое. Количество выполненных семян, в среднем, не превышает 2%.

Особенности анатомического строения побегов северокавказских можжевельников (*J. communis* и *J. sabina*) показаны на рис. 2. Характерной особенностью первичного строения стебля можжевельника обыкновенного является наличие в первичной коре стебля трех крупных смоляных каналов (рис. 2, а). Паренхима первичного стебля состоит из довольно крупных живых тонкостенных изодиаметрических клеток, в центре побега (по кругу) располагается от 9 до 12 проводящих пучков, разделенных узкими межпучковыми зонами. Вторичная ксилема и вторичная флоэма (рис. 2, б, в) формируются в результате деятельности кам-

**Морфометрическая характеристика «шишкоягод» и семян можжевельников
Баксанского ущелья**

Вид, подвид	Размеры шишкоягод				Среднее количество семян в одной шишкоягоде, шт.	Средняя масса 1000 семян, г	Количество выполненных семян, %
	Длина, мм	Диаметр, мм	l/d	Воздушно-сухая масса 100 шишкоягод, г			
<i>Juniperus communis</i> L. ssp. <i>oblonga</i>	6,80	6,50	1,10	8,22	2,70	13,41	5,30
<i>Juniperus sabina</i> L. ssp. <i>sabina</i>	6,40	6,80	0,90	8,28	2,80	9,87	1,70

бия. Первичная ксилема сохраняется в сердцевине. Смоляные каналы в первичной коре по мере формирования побега вырастают во вторичную кору и разрушаются (обычно уже на 3–4-й год). У можжевельника казацкого в первичной коре стебля имеются два крупных смоляных канала (рис. 2, *з*), которые с возрастом также разрушаются (рис. 2, *е*).

Дендрохронологический анализ можжевельника обыкновенного производился по дискам, взятым вблизи корневой шейки растений. Ширину годичных слоев измеряли при помощи окулярной шкалы бинокля МБС-1 с точностью $\pm 0,05$ мм. После построения графиков годичных приростов отдельных растений осуществ-

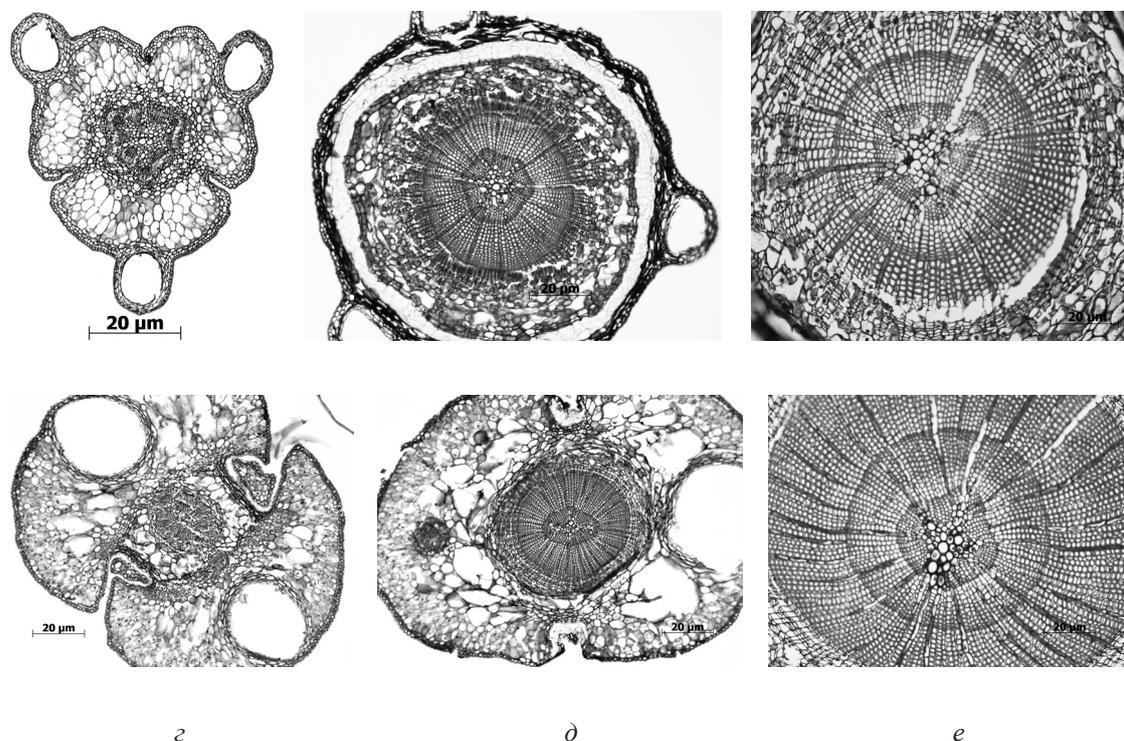


Рис. 2. Анатомическое строение побегов можжевельников: *a–в* – можжевельник обыкновенный – *Juniperus communis*; *z–e* – можжевельник казацкий – *J. sabina*; 1-го (*a, z*), 2-го (*б, d*) и 3-го (*в, e*) года жизни

влялась синхронизация кривых их годовых приростов в пределах изучаемой территории. Степень схождения в колебаниях годовых приростов устанавливалась как визуально, так и методом расчета коэффициента схождения [2]. Совпадение однозначных тенденций более чем в 50% случаев указывает на наличие схождения временных рядов прироста, менее 50% – на их асинхронность. Однако, по мнению ряда авторов [1; 4], за нижний предел коэффициента синхронности, который оценивает число однонаправленных изменений от года к году между двумя хронологиями, следует принимать показатель, равный 68%. Стандартизация, или исключение возрастного тренда из ряда ширины годовых колец, проводилась методом 11-летнего скользящего сглаживания [2]. Для каждой индивидуальной хронологии рассчитаны относительные индексы прироста. Цикличность радиального прироста устанавливалась по календарным датам наступления экстремальных приростов и значений нормы годового прироста, рассчитанных по 11-летним скользящим кривым с шагом 1 год.

Возраст изученных растений варьирует от 48–61 (Баксанское ущелье) до 159–191 года (гора Бештау). Диаметр их у корневой шейки колеблется от 2,7 см (гора Бештау) до 15 см (Баксанское ущелье). Средние значения ширины годовых колец у отдельных особей и в разных условиях произрастания очень сильно варьируют и находятся в диапазоне от 0,185–0,280 мм (гора Бештау) до 0,775–1,075 мм (Баксанское ущелье). Среднее значение величины радиального прироста для всех исследованных деревьев составило 0,40 мм. В целом, коэффициенты изменчивости абсолютных величин радиального годового прироста отдельных особей соответствуют, согласно оценочной шкале С.А. Мамаева [5], очень высокому уровню (57,5–65,4%). Показатель чуткости исследованных особей можжевельника к условиям окружающей среды колеблется от 39,6 до 57,5%. По Т.Т. Битвинскому [2], при значении этого показателя более 25% особи считают чутко реагирующими на изменение условий внешней среды.

У большинства исследованных растений выражена так называемая кривая «большого роста» (рис. 3, а, б). Четкие совпадения календарных экстремумов отсутствуют. У разных растений даты максимальных значений прироста приходятся на разные годы. Некоторая общность прослеживается во времени наступления минимальных значений ширины годовых колец. Так, для всех растений минимальные значения прироста отмечаются в 2010 и в 2006–2007 годах. У можжевельников Баксанского ущелья – в 1983–1984, 1994–1995 и в 1971–1972 годах. У можжевельников, произрастающих на скалах горы Бештау, совпадают целые периоды, отличающиеся минимальными показателями радиального прироста с 1926 по 1933 годы.

Амплитуды колебаний относительных индексов радиального прироста у разных растений значительно различаются, и чаще находятся в диапазоне 50–170%, при максимальном размахе от 30 до 320% (рис. 4).

Сходство колебаний абсолютных значений радиальных годовых приростов низкое (от 31,0 до 56,7%) у всех сравниваемых пар. При попарном сравнении серий индексов радиального годового прироста коэффициент синхронности оказался несколько выше (42,8–60,0%), но не удовлетворяет своему нижнему пределу – 68%, т.е. перекрестная датировка между ними неуверенная.

Ритмичность в колебаниях ширины годовых колец деревьев хорошо прослеживается при построении кривых норм прироста (см. рис. 3, а, б). Периодичность проявления экстремумов у разных растений сильно отличается. Средняя протяженность внутривековых циклов изменяется от 5,3 до 12,8 лет. У каждой отдельной особи цикличность проявления максимумов и минимумов близка и отличает-

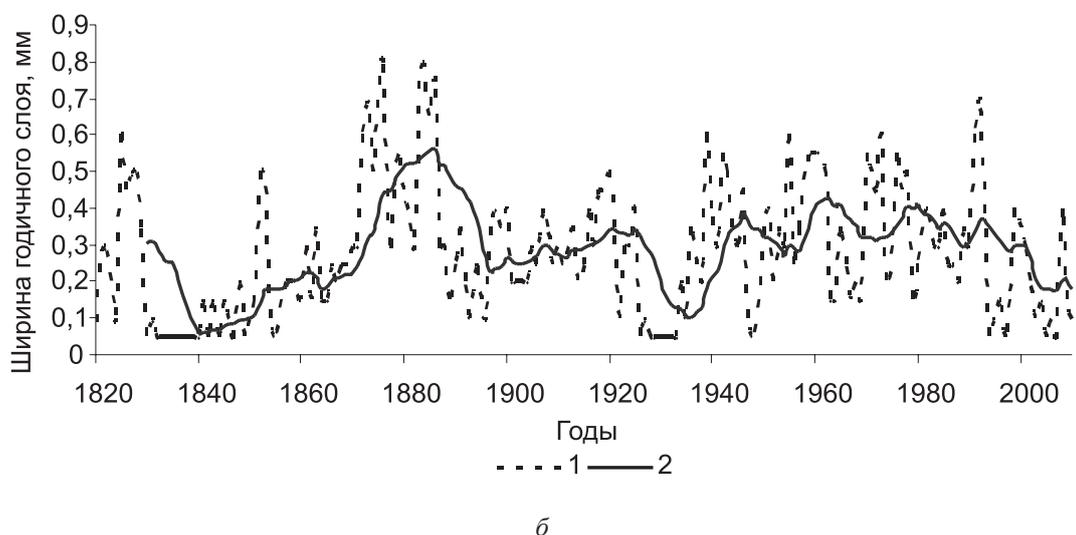
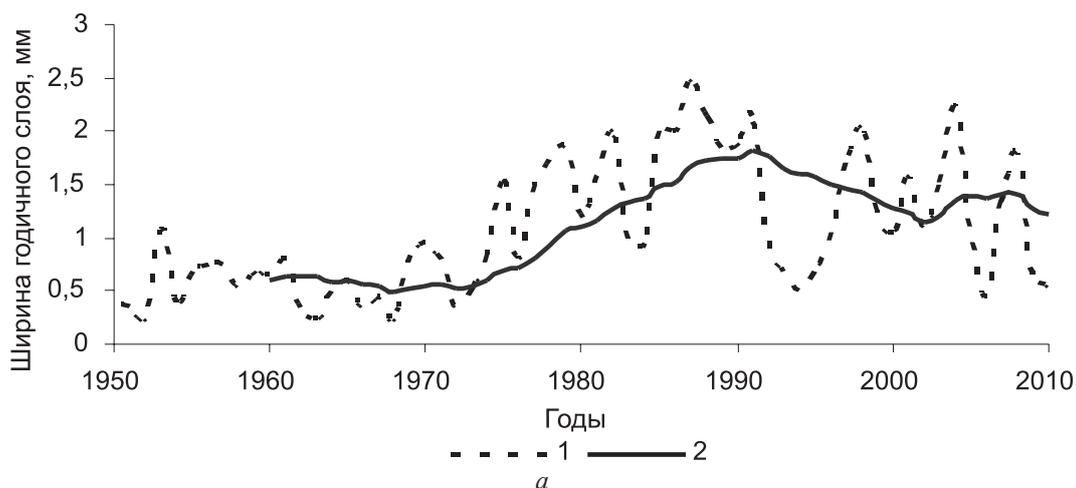


Рис. 3. Радиальный рост можжевельника обыкновенного: *Juniperus communis* L. ssp. *oblonga* (Bieb.) Galushko в Баксанском ущелье (а) и *Juniperus communis* L. ssp. *hemisphaerica* (J. et C. Presl.) Nym. в районе горы Бештау (б): 1 – абсолютное значение радиального прироста, 2 – норма радиального прироста

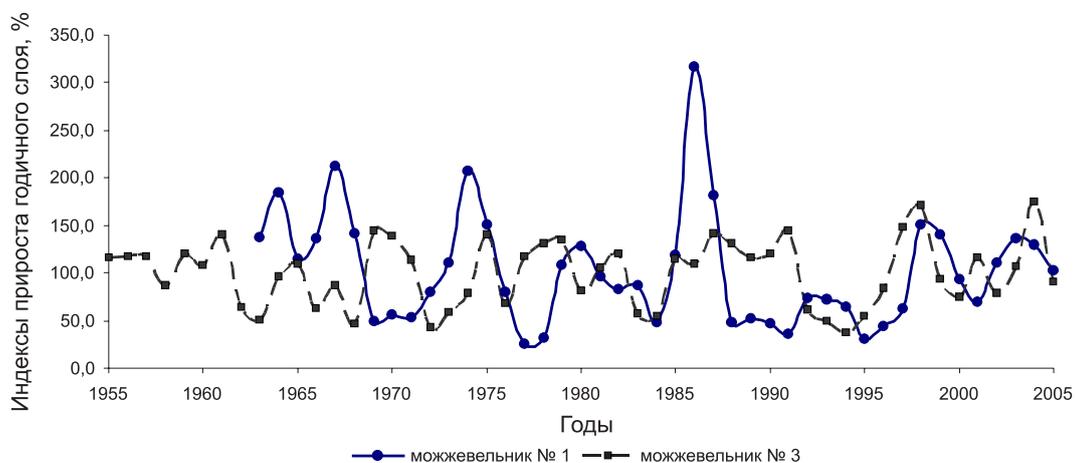


Рис. 4. Относительные индексы годичных радиальных приростов можжевельника обыкновенного (*Juniperus communis* L. ssp. *oblonga* (Bieb.) Galushko) в Баксанском ущелье

ся между собой не более чем на 1–2 года. У растений с возрастом более 100 лет просматриваются внутривековые циклы с периодами 30–36 лет (Брикнеровские – около 30 лет), 53–55 лет, 65 лет, 71–76 лет и, близкий к вековому, цикл продолжительностью 96 лет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барзут В.М. Анализ многолетней и погодичной динамики прироста хвойных в Беломорье: автореф. дис. ... канд. биол. наук / В.М. Барзут. Тарту, 1985. 27 с.
2. Битвинскас Т.Т. Дендроклиматические исследования / Т.Т. Битвинскас. Л.: Гидрометеоиздат, 1974. 172 с.
3. Имханицкая И.Н. Критическая заметка о кавказских видах секции *Juniperus* рода *Juniperus* L. (Cupressaceae) / И.Н. Имханицкая // Новости систематики высших раст. Л.: Наука (Ленингр. отд-е), 1990. Т. 27. С. 5–16.
4. Мазепа В.С. Пространственно-временная изменчивость радиального прироста хвойных видов деревьев в субарктических районах Евразии: автореф. дис. ... д-ра биол. наук / В.С. Мазепа. Екатеринбург, 1998. 38 с.
5. Мамаев С.А. Уровни изменчивости анатомо-морфологических признаков сосны / С.А. Мамаев // Ботанич. исслед. на Урале (Зап. Свердловск. отд-е Всес. бот. общ-ва). Вып. 5. Свердловск, 1970. С. 58–67.
6. Михеев А.Д. Конспект флоры сосудистых растений района Кавказских Минеральных Вод и прилегающих территорий / А.Д. Михеев. – Пятигорск: Изд-во «Вестник Кавказа», 2010. – 51 с.
7. Теймуров А.А. Следы инвазий ксерофильной флоры Дагестана в Пятигорье / А.А. Теймуров, М.А. Тайсумов // Юг России: экология, развитие, 2007. № 2. С. 69–72.
8. Schulz C. Identification key to the Cypress family (Cupressaceae) / C. Schulz, P. Knopf, Th. Stützel // Feddes Repertorium, 2005. Vol. 116, № 1–2. P. 96–146.

Поступила 27.06.11

M.V. Surso¹, O.S. Barzut²

¹ Ural Division of RAS, Institute of ecological problems of the North

² Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

Morphological characteristics and growth peculiarities of juniper species at the Pyatigorsk-Elbrus area

Morphological peculiarities of the Northern Caucasus juniper species (*Juniperus communis* and *J. ylves*) have been studied. Dendrochronological analysis of *Juniperus communis* growing in the Baksan ravine and on the southern flanks of the Beshtau mountain was made.

Key words: juniper, Northern Caucasus, morphological characteristics, dendrochronological analysis.

УДК 630.114.33:582.632.1 (571.5)

П.А. Тарасов

Сибирский государственный технологический университет

Тарасов Павел Альбертович родился в 1959 г., окончил в 1982 г. Сибирский технологический институт, кандидат биологических наук, доцент кафедры лесоводства Сибирского государственного технологического университета. Имеет около 50 печатных работ по проблеме антропогенного воздействия на лесные почвы.
E-mail: avyatar@yandex.ru



ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СМЕНЫ СОСНЫ БЕРЕЗОЙ НА СВОЙСТВА ПОЧВ В УСЛОВИЯХ ПРИАНГАРЬЯ

Приведены результаты сравнительной оценки агрохимических и физических свойств дерново-подзолистой почвы в сосняке, а также в молодых и средневозрастных березняках, сформировавшихся на сосновых вырубках. Сделан вывод о положительном влиянии березы на свойства почв.

Ключевые слова: смена пород, сосна, береза, дерново-подзолистая почва, агрохимические и физические свойства.

Вырубка коренных сосновых древостоев в Приангарье приобрела беспрецедентные масштабы. Результатом этого становится столь же масштабная по своим размерам и невыгодная с хозяйственной точки зрения смена сосны мягколиственными породами. При этом, учитывая лучшую, в сравнении с сосной, их приспособленность к возобновлению и выживанию в условиях вырубок, а также практическое отсутствие лесоводственных мер по предотвращению этой смены, следует ожидать дальнейшего роста площади березняков и осинников, формирующихся на месте сосновых вырубок [3, 9].

В целом ряде работ, опубликованных по результатам исследований в разных регионах страны, указывается на положительном влиянии березовых насаждений на почвы [1, 4, 6, 8, 13, 15, 16]. В то же время такой корифей лесной науки, как М.Е. Ткаченко [14], подчеркивал, что влияние леса на почву может быть разнообразным, в зависимости от климатических условий и почвообразующей породы. Позднее Б.В. Надеждин [10] добавил к этим факторам еще исходные свойства почв и длительности воздействия на них лесной растительности. Исходя из этого, основной целью работы являлась оценка влияния смены сосны березой на физические и агрохимические свойства почв в условиях такого активно осваиваемого региона, как Приангарье.

Исследования проводились в чистых молодых (15 лет) и средневозрастных (35 лет) березняках, сформировавшихся на месте пройденных сплошными рубками коренных сосновых древостоев. Контролем служил участок 60-летнего чистого соснового леса. Все насаждения, в каждой группе которых было заложено по пять пробных площадей, относятся к осочково-разнотравному типу с хорошо развитым живым напочвенным покровом.

Использовались методы, общепринятые в полевых и лабораторных исследованиях почвы. Запас подстилки определяли с помощью рамки (n=10). Для изучения морфологии почв на каждой пробной площади закладывался разрез и делалось пять прикопок, в которых буром Качинского определяли плотность (n=10) [12].

Для выполнения лабораторных исследований составлялись смешанные образцы, анализ которых позволяет получить усредненные для всех пробных площадей результаты [11]. Структуру исследовали по Н.И. Савинову [12], а агрохимические показатели определяли методами, описанными Е.В. Аринушкиной [2]. Название почв устанавливали, руководствуясь последним изданием «Классификации и диагностики почв России» [7].

Полевые исследования обнаружили общее для всех изучаемых насаждений строение профиля почв (О–АУ–ЕЛ–ВТ–С) и значительное сходство их других морфологических признаков. Исходя из этого, все почвы были отнесены нами к одной разности и диагностированы как дерново-подзолистые.

Анализ основных характеристик подстилки позволил сделать вывод о более быстрых темпах ее минерализации в березняках, что, главным образом, обусловлено более благоприятным для разложения химическим составом их опада [1, 5, 9]. Вследствие этого запасы подстилки в березняках оказались в среднем на 70% меньше (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Запас подстилки и плотность минеральных горизонтов

Показатели	Сосняк	Березняки 15 лет	Березняки 35 лет
Запас подстилки, г/м ²	2440,000±319,000	1400,000±79,000	1470,000±65,000
Плотность АУ, г/см ³	0,480±0,027	0,460±0,026	0,420±0,031
Плотность ЕЛ, г/см ³	1,100±0,030	1,160±0,051	1,110±0,068

Лучшее развитие травянистой растительности в березняках способствует активизации дернового процесса, в результате чего содержание гумуса в горизонте АУ здесь на 2,6–3,8% выше аналогичных показателей соснового насаждения (соответственно 17,4–18,6 и 14,8%) .

Вместе с тем, из-за частичного уничтожения этого горизонта при проведении рубки его мощность в березняках (в среднем 5–7 см) все еще заметно уступает исходным значениям (10–12 см). При этом минимальная его мощность отмечена в молодняках, что обусловлено меньшим периодом времени, прошедшим после рубки.

В то же время, несмотря на имевшее в свое время уплотняющее воздействие лесозаготовительной техники, плотность горизонта АУ в березняках оказалась несколько ниже, чем на контроле (0,42–0,46 против 0,48 г/см³ – табл. 1). Вероятно, это обусловлено разрыхляющим влиянием корней живого напочвенного покрова, поскольку в горизонте ЕЛ, где их содержание существенно меньше, значения плотности в березняках несколько выше (1,11–1,16 против 1,10 г/см³ в сосняке – табл. 1). При этом наиболее плотным является горизонт ЕЛ в 15-летних березняках, в которых последствия уплотнения сохранились в большей степени.

Исследования структуры показали довольно высокое (73–81%) содержание мезоагрегатов в почве березняков. При этом если в средневозрастных березняках данный показатель практически не отличался от контроля, то в обоих горизонтах молодняков несколько уступал ему (73 и 72% против 77 и 82% соответственно). В горизонте АУ это обусловлено на треть большим содержанием микроагрегатов (18% против 13%), а в ЕЛ – более чем трехкратным увеличением доли макроагрегатов (17% против 5%). Вероятнее всего, данные различия в структурном составе связаны со все еще сохраняющимися в почве 15-летнего березняка результатами воздействия лесозаготовительной техники, оказанного на верхние слои во вре-

мя рубки. В горизонте АУ оно, преимущественно, проявилось в разрушении части мезоагрегатов, а в ЕL – в соединении последних в макроагрегаты и деформировании, сделавшем их плитовидную форму более четко выраженной.

Вследствие отмеченных особенностей структурного состава почвы в березовых молодняках коэффициент структурности ее исследуемых горизонтов имеет минимальные значения. В АУ он составляет 2,73, а в ЕL – 2,64 при соответствующих, очень близких между собой, показателях контроля 35-летнего березняка (3,29 и 3,27; 4,41 и 4,24).

Исследования водопрочности агрегатов показали несколько иные результаты. В горизонте АУ контрольного участка коэффициент водоустойчивости структуры оказался немного ниже, чем в березняках (0,85 против 0,88–0,89), что, вероятнее всего, обусловлено большим содержанием в их почвах гумуса. В горизонте же ЕL, напротив, более высокое значение данного коэффициента отмечается на контроле. Здесь оно составляет 0,91, тогда как в 35-летнем и 15-летнем березняках – 0,83 и 0,75 соответственно. Таким образом, полученные результаты позволяют сделать вывод, что благодаря естественным процессам образования почвенной структуры негативные последствия от воздействия на нее рубки с течением времени ослабляются.

Анализ агрохимических показателей выявил определенные различия между почвами соснового и березовых насаждений, которые наиболее отчетливо выражены в их подстилке (табл. 2). На основании этого можно заключить, что главным фактором, определяющим агрохимические показатели почв, является количество и состав поступающего в них опада. В силу особенностей его химического состава в березовых насаждениях [9, 17] их подстилки содержат намного больше элементов питания. Так, общее содержание азота в них составляет 1,074–1,245%, фосфора – 0,432–0,509%, калия – 0,321–0,361% при соответствующих показателях подстилки в сосняке 0,871; 0,335 и 0,230%. Кроме того, подстилки березняков характеризуются более благоприятными физико-химическими показателями. Значения рН водной и солевой вытяжек в них ближе к нейтральному диапазону (6,0–6,1 и 5,5–5,7 против 5,4 и 4,9 в сосняке), тогда как сумма поглощенных оснований вдвое, а степень насыщенности ими на 16% больше (соответственно 105–118 и 53 м-экв./100 г; 82 и 66%). Это благоприятствует активной деятельности почвенных микроорганизмов, результатом которой является отмеченная выше более быстрая минерализация подстилки в березняках.

В минеральных же горизонтах различия агрохимических показателей не столь однозначны. Так, если содержание общего азота в почве 35-летних березняков (0,41–0,12%) заметно уступает контролю (0,46–0,15%), то по общему фосфору и, особенно, калию уже превосходит их (соответственно 0,40–0,28 и 0,58–0,73% против 0,38–0,27 и 0,48–0,55%). В обоих исследуемых горизонтах 15-летних березняков общее содержание калия (0,52–0,65%) выше, тогда как их различия с контролем по азоту и фосфору имеют противоречивый характер. Так, если в горизонте АУ содержится несколько больше азота (0,47%), но меньше фосфора (0,34%), то в горизонте ЕL соотношение этих показателей с контролем обратное. Общего азота здесь меньше (0,11%), а фосфора (0,31%) больше (табл. 2).

Столь сложный и неоднозначный характер различий, отмеченных в содержании основных элементов минерального питания, трудно объяснить. Возможно, большее содержание фосфора и калия является результатом их активной биологической аккумуляции, обусловленной более высокой, в сравнении с сосняком, концентрацией этих элементов в опаде березовых насаждений [17]. Относительно меньшего содержания общего азота можно предположить, что оно связано с актив-

Таблица 2

Агрохимические показатели почвы

Горизонт, глубина, см	pH		Гидроли- тическая кислот- ность	Сумма погло- щенных осно- ваний	Степень насыщен- ности основа- ниями, %	Углерод гумуса, %	C:N	Валовые, %		
	H ₂ O	КС1						N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	м-экв./100 г									
0-5 AY, 5-15 EL, 15-25	5,39	4,87	27,40	52,50	65,70	20,65*	23,70	0,871	0,335	0,230
	5,56	5,01	6,69	37,30	84,80	8,61	18,80	0,457	0,384	0,477
	4,84	4,31	5,73	18,50	76,40	3,14	21,40	0,147	0,270	0,550
0-5 AY, 5-10 EL, 10-20	6,04	5,53	25,30	117,50	82,30	20,05*	16,10	1,245	0,509	0,321
	5,72	5,06	6,81	38,00	84,80	10,79	23,00	0,469	0,341	0,516
	5,12	4,29	4,82	18,70	79,50	2,76	24,20	0,114	0,309	0,650
0-5 AY, 5-12 EL, 12-22	6,11	5,65	22,40	105,00	82,40	20,40*	19,00	1,074	0,432	0,361
	5,13	4,68	8,65	28,50	76,70	10,11	24,50	0,413	0,395	0,580
	4,98	4,08	4,82	19,70	80,30	3,45	29,00	0,119	0,283	0,728

* Общий углерод.

ным его потреблением корнями живого напочвенного покрова и березы в начальный период формирования ее насаждений на вырубках.

Таким образом, несмотря на имевшее в свое время негативное воздействие технологического фактора проведения рубки, почвы формирующихся на вырубках березовых насаждений по большинству рассмотренных показателей превосходят почву коренного сосняка. Наиболее вероятным объяснением этому могут быть более высокие темпы биологического круговорота веществ в березняках, способствующие довольно быстрому устранению негативных последствий антропогенного воздействия.

Вместе с тем большая скорость биологического круговорота веществ в березовых насаждениях оказывает и определенное негативное влияние на физико-химические показатели их минеральных горизонтов. При этом в связи с более длительным периодом данного влияния его результаты заметнее проявляются в почве 35-летних березняков, особенно, в горизонте АУ. Под воздействием образующихся при разложении подстилки органических кислот происходит увеличение обменной и гидролитической кислотности (8,7 против 6,7 м-экв./100 г на контроле), а также уменьшение суммы поглощенных оснований (с 37,3 до 28,5 м-экв./100 г) и степени насыщенности ими (с 85 до 77%). Что касается исследуемых горизонтов 15-летнего березняка, то в них ухудшение физико-химических показателей выражены намного слабее и проявляются лишь в виде некоторого усиления обменной кислотности.

Таким образом, вопреки существующей негативной, с хозяйственной точки зрения, оценке смены сосны березой в аспекте почвоведения данный процесс, учитывая его огромные масштабы, в большей степени заслуживает положительной оценки. Его результатом является улучшение целого ряда почвенных характеристик, что в случае обратной смены пород будет способствовать успешному развитию сосновых древостоев.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абатуров Ю.Д.* Влияние сосновых и березовых лесов на почвы Южного Урала / Ю.Д. Абатуров // Почвоведение. 1961. № 6. С. 59–67.
2. *Аринушкина Е.В.* Руководство по химическому анализу почв / Е.В. Аринушкина. М.: Изд-во МГУ, 1970. 489 с.
3. *Белов С.В.* Лесоводство. Учебник для вузов / С.В. Белов. М.: Лесн. пром-сть, 1983. 382 с.
4. *Гаврилов К.А.* Влияние различных лесных культур на почву / К.А. Гаврилов // Лесн. хоз-во. 1950. № 3. С. 30–35.
5. *Зонн С.В.* Процессы превращения органических веществ хвойных и широколиственных древесных пород и их влияние на состав гумуса выщелоченных черноземов / С.В. Зонн, Д.Ф. Соколов // Влияние хвойных и лиственных насаждений на выщелоченные черноземы лесостепи. М.: Изд-во АН СССР, 1960. Т. 1. С. 61–85.
6. *Ковригин С.А.* Динамика нитратов, аммония и подвижных форм фосфора и калия в почвах под различными древостоями / С.А. Ковригин // Почвоведение. 1952. № 7. С. 73–80.
7. Классификации и диагностики почв России / под ред. Л.Л. Шишова [и др.]. – Смоленск: Ойкумена, 2004. 341 с.
8. *Куликова В.К.* Динамика подвижных форм элементов минерального питания в почвах еловых и березово-еловых насаждений в условиях Карелии / В.К. Куликова // Лес и почвы. Красноярск: Ин-т леса и древесины им. В.Н. Сукачева СО АН СССР. 1968. С. 276–288.
9. *Мелехов И.С.* Лесоведение: учебник для вузов / И.С. Мелехов. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 408 с.
10. *Надеждин Б.В.* Материалы к изучению влияния лесных насаждений на черноземные почвы / Б.В. Надеждин // Сборник работ Центрального музея почвоведения. 1954. Вып. 1. М.-Л. С. 264–290.
11. Почвенная лаборатория лесхоза / И.И. Смольянинов [и др.]. М.: Лесн. пром-сть, 1966. 144 с.

12. Растворова О.Г. Физика почв (практическое руководство) / О.Г. Растворова. Л.: ЛГУ, 1983. 196 с.
13. Смирнов В.Н. Сравнительная характеристика дерново-подзолистых суглинистых почв смешанных хвойно-лиственных и широколиственных лесов Среднего Поволжья / В.Н. Смирнов // Почвоведение. 1963. № 5. С. 64–75.
14. Ткаченко М.Е. Влияние отдельных пород на почву / М.Е. Ткаченко // Почвоведение. 1939. № 5. С. 64–75.
15. Ткаченко М.Е. Общее лесоводство / М.Е. Ткаченко. М.-Л.: Гослесбумиздат, 1952. 599 с.
16. Фирсова В.П. К вопросу о влиянии смены пород на химические и микробиологические свойства дерново-подзолистых почв Зауралья / В.П. Фирсова, Г.А. Кулай, Г.К. Ржанникова // Труды Ин-та биологии УФ АН СССР. 1966. С. 187–195.
17. Шугалей Л.С. Влияние древесных культур на почву / Л.С. Шугалей, Г.И. Яшихин // Моделирование развития искусственных лесных биогеоценозов. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1984. С. 58–116.

Поступила 27.06.11

P.A. Tarasov

Siberian State Technological University

Evaluation of pine-birch succession effect on the soil properties in the Angara river area

This article presents the comparative assessment results of agrochemical and physical features of the sod-ash gray soil in pine forests and young growth and middle-aged birch forests, formed at the post-pine logged lands. Conclusion regarding positive impact of birch on the soils features has been made.

Key words: species succession, pine, birch, sod-ash gray soil, agrochemical and physical features.

УДК 635.054/.055:504.5

Е.Ю. Колмогорова, В.А. Кайдорина, О.А. Неверова

Институт экологии человека СО РАН

Колмогорова Елена Юрьевна родилась в 1973 г., окончила в 1996 г. Кемеровский государственный университет, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории экологического биомониторинга Института экологии человека СО РАН. Имеет более 30 печатных работ по проблеме биоэкологической оценки окружающей среды методами биоиндикации.
E-mail: biomonitoring@bk.ru



Кайдорина Виктория Александровна родилась в 1974 г., окончила в 1996 г. Кемеровский государственный университет, ведущий инженер-биолог лаборатории экологического биомониторинга Института экологии человека СО РАН. Имеет 4 научные статьи в области изучения устойчивости древесных растений в условиях мегаполиса.
E-mail: biomonitoring@bk.ru



Неверова Ольга Александровна родилась в 1959 г., окончила в 1981 г. Кемеровский государственный университет, доктор биологических наук, профессор, заведующая лабораторией экологического биомониторинга Института экологии человека СО РАН. Общий список печатных работ включает 103 наименования, из них 69 посвящено проблеме фитоиндикации.
E-mail: biomonitoring@bk.ru



МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВИЯ ВЫБРОСОВ АВТОТРАНСПОРТА

Установлено, что у березы повислой, произрастающей вблизи перекрестков города, выбросы автотранспорта вызывают негативные изменения роста и развития. На молекулярном и клеточном уровнях отмечается снижение синтеза первичных и вторичных метаболитов (углеводов и аскорбиновой кислоты); на уровне годовых побегов отмечается уменьшение их прироста, числа, площади и массы листьев. По уровню изменения морфофизиологических показателей березы повислой сделан вывод о различной степени загрязнения исследуемых перекрестков выбросами автотранспорта.

Ключевые слова: береза повислая, выбросы автотранспорта, фотосинтетическая способность, аскорбиновая кислота, ростовые процессы.

Увеличение количества автомобильного транспорта в городах приводит к серьезному загрязнению окружающей среды. В этом смысле г. Кемерово не является исключением. Выбросы в атмосферу от транспортных средств содержат более 200 соединений загрязняющих веществ, основными из которых являются оксид углерода, оксиды азота, диоксид серы, углеводороды, в том числе наиболее опасный из них бенз(а)пирен, свинец и его соединения и другие вещества [4]. Наибольшая доля загрязнения воздуха и почв от автотранспортных потоков приходится на автомагистрали и перекрестки города.

Общеизвестна средоулучшающая роль зеленых насаждений городов. Растения способны усваивать газообразные токсиканты, накапливать их, выделять в неизменном виде, включать непосредственно в физиолого-биохимический обмен или обезвреживать их в результате деградации до стандартных клеточных мета-

болитов и углекислого газа. Эта способность растений может быть использована в целях ремедиации городских экосистем. При этом, как правило, такой способностью обладают растения с высокой устойчивостью к загрязнителям.

Для выявления устойчивых видов древесных растений требуется детальное изучение различных аспектов их жизнедеятельности в экологических зонах, отличающихся составом и концентрацией действующих токсикантов. Это позволит в дальнейшем разработать список растений, рекомендованных для создания эффективной системы озеленения различных экологических зон городов с учетом специфики загрязняющих веществ. С другой стороны, зеленые растения можно использовать в качестве индикаторов загрязнения окружающей среды, в частности, по физиолого-биохимическим и морфометрическим показателям состояния растений можно судить о степени суммарной техногенной нагрузки на окружающую среду. Преимущество использования фитоиндикаторов в оценке загрязнения окружающей среды в сравнении с расчетными методами заключается в том, что по показателям состояния растений можно оценивать степень техногенного воздействия и порог допустимой нагрузки на природные объекты выбросов промпредприятий, автотранспорта и других источников загрязнения и составлять экологические прогнозы на перспективу.

В связи с вышесказанным для нас представляло интерес изучить жизнедеятельность древесных растений в зоне действия выбросов автотранспорта по морфометрическим и физиолого-биохимическим показателям их состояния и сопоставить их с расчетным уровнем загрязнения перекрестков г. Кемерово.

В связи с поставленной целью в задачи исследований входило: оценка интенсивности синтетических процессов у растений, произрастающих вблизи перекрестков города (по содержанию углеводов и аскорбиновой кислоты); изучение динамики сезонного роста боковых побегов и их элементов; сопоставление полученных характеристик жизнедеятельности растений с расчетным уровнем загрязнения перекрестков.

Материалы и методы исследований

Исследования проведены в летний период 2008 г. вблизи двух перекрестков города Кемерово, характеризующихся высокой интенсивностью движения автотранспорта: перекресток 1 – «пр. Октябрьский – ул. Терешковой» и перекресток 2 – «ул. Тухачевского – пр. Химиков». Перекресток 1 располагается в Центральном районе города вблизи коммунального моста, соединяющего право- и левобережные части города. Перекресток 2 находится в Заводском районе города и соединяет дороги, по которым проходит основной поток тяжелого транспорта.

Объектом исследований являлась береза повислая, широко представленная в зеленых насаждениях г. Кемерово. Площадки наблюдений располагались вблизи изучаемых перекрестков, а контрольные – в жилом квартале Ленинского района, который является минимально загрязненным районом города.

Выборка растений составляла 10 деревьев на каждой исследуемой площадке (средневозрастное генеративное состояние – g^2) [6]. Физиолого-биохимические показатели определяли в динамике – каждые 10 дней за вегетацию, для чего выбирали 5 деревьев хорошего и удовлетворительного жизненного состояния. Фотосинтетическую способность определяли бескамерным методом, который позволяет рассчитать интенсивность процесса по количеству углеводов, образующихся в листьях на каждый грамм их исходного содержания за определенный период экспозиции на свету [1]. Содержание аскорбиновой кислоты в листьях определяли по ГОСТ 24556-89 [2]. Физиолого-биохимические анализы выполнены в 5-крат-

ной повторности. Морфобиометрические исследования проводили на 10 модельных деревьях, у которых метили по 10 ветвей нижней трети кроны дерева по периметру. Сезонный прирост боковых побегов в длину измеряли каждые 10 дней с помощью железной линейки с точностью до 0,1 см. Количество листьев на годичном побеге подсчитывали в шт. В конце вегетации массу листьев годичных побегов взвешивали на весах с точностью до 0,1 г, площадь листьев высчитывали с учетом высечек (1x1 см) по методике И.В. Кармановой [3].

Результаты и их обсуждение

Количество выбросов от автотранспортных потоков тяжело поддается подсчету и не всегда отражает объективную картину загрязнения в связи с меняющейся картиной транспортной нагрузки перекрестков по годам. В таблице 1 приведены данные моделирования загрязнения атмосферного воздуха, проведенного на основе данных инвентаризации выбросов в сумме от стационарных и передвижных источников, с учетом климатических параметров, влияющих на распространение примесей в атмосфере – направления и скорости ветра, состояния устойчивости атмосферы.

Т а б л и ц а 1

Концентрации загрязняющих веществ вблизи исследуемых перекрестков города Кемерово (в долях ПДК)

Перекрестки	Pb	NO ₂	SO ₂	CO	Бенз(а)-пирен	Сажа	Формальдегид	Бензин
Средние максимально разовые концентрации загрязняющих веществ								
пр. Химиков – ул. Тухачевского	1,710	5,970	0,100	2,190	0,640	0,120	0,190	0,260
пр. Октябрьский – ул. Терешковой	5,530	4,150	0,330	6,260	1,850	0,370	0,520	0,720
ПДК _р , мг/м ³	0,001	0,085	0,500	5,000	0,00001	0,150	0,036	5,000
Среднегодовые концентрации загрязняющих веществ								
пр. Химиков – ул. Тухачевского	0,300	1,790	0,430	0,310	0,570	0,100	0,270	0,080
пр. Октябрьский – ул. Терешковой	0,400	3,040	0,660	0,570	0,620	0,120	0,400	0,150
ПДК _с , мг/м ³	0,0003	0,040	0,050	3,000	0,000001	0,050	0,003	1,500

Примечание. Для каждого вещества взята концентрация, усредненная по всем расчетным точкам на перекрестке.

Данные табл. 1 показывают, что по средним максимально разовым концентрациям загрязняющих веществ имеет место превышение ПДК по свинцу (5,97–4,15 ПДК), оксиду углерода (2,19–6,26 ПДК) и диоксиду азота (5,97–4,15 ПДК) на перекрестках «пр. Химиков – ул. Тухачевского» и «пр. Октябрьский – ул. Терешковой» соответственно. На последнем перекрестке имеет место превышение по бенз(а)пирену (1,85 ПДК). По среднегодовым концентрациям на изучаемых перекрестках имеет место превышение ПДК по диоксиду азота (в 1,79 и 3,04 раза соответственно на перекрестках «пр. Химиков – ул. Тухачевского» и «пр. Октябрьский – ул. Терешковой»). На основе полученных данных рассчитан комплексный показатель загрязнения атмосферы (КП). Установлено, что наиболее загрязнен перекресток «пр. Октябрьский – ул. Терешковой» (КП=6). На перекрестке «пр. Химиков – ул. Тухачевского КП=4.

Оценка состояния березы повислой, произрастающей вблизи изучаемых перекрестков позволила выявить следующие закономерности.

Кривая значений синтеза углеводов в листьях как контрольных, так и опытных групп растений носит сходный характер с минимумами в начале и в конце вегетации и максимумами в июле. К концу вегетации скорость синтеза углеводов снижается вследствие старения листьев.

Результаты экспериментов показали, что у деревьев, произрастающих вблизи изучаемых перекрестков, отмечается снижение синтеза углеводов во все сроки наблюдений в сравнении с контролем (рис. 1). Максимальное снижение данного показателя отмечается 5 июля, 15 июля и 14 августа – синтез углеводов в листьях березы падает ниже контрольных значений на 38,8; 38,3; 38,6% и 41,7; 37,8 и 35,1% вблизи перекрестков «пр. Химиков – ул. Тухачевского» и «пр. Октябрьский – ул. Терешковой» соответственно.

Аскорбиновая кислота относится к вторичным метаболитам, тем не менее, ее содержание отражает уровень синтетических процессов у растений.

Результаты экспериментов показали, что у исследуемых деревьев березы характер кривых содержания аскорбиновой кислоты в течение вегетации во многом сходен с кривой синтеза углеводов – от минимальных значений в мае до максимальных в июле и существенно более низких значений в середине августа. Характер кривых синтеза углеводов и содержания аскорбиновой кислоты во многом определяется интенсивностью ростовых процессов у деревьев в течение вегетации. С началом развития листового аппарата связана инициация синтеза ассимилятов. В период максимального развития листового аппарата (в большинстве случаев в июле) отмечается максимальный синтез и аскорбата, а к концу вегетации (к середине августа) отмечается процесс старения листьев, разрушение хлорофилла и как следствие – замедление синтеза ассимилятов, в том числе и аскорбата.

Анализ экспериментальных данных показал, что у контрольных деревьев березы содержание аскорбата в течение вегетации колеблется в пределах 107,03–149,7 мг/100 г, причем минимальное значение наблюдается 26 мая, а максимальное – 5 июля.

Вблизи изучаемых перекрестков у березы наблюдается снижение синтеза аскорбата во все сроки наблюдений, причем, более низкое содержание аскорбата, по сравнению с контролем отмечается на перекрестке «ул. Терешковой – пр. Октябрьский». На данном перекрестке в сроки наблюдений с 26 мая по 4 августа содержание аскор-

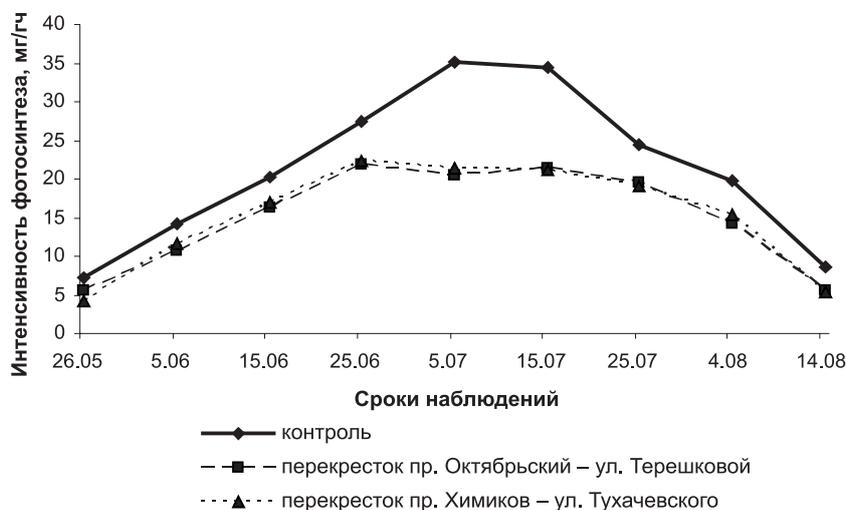


Рис. 1. Интенсивность синтеза углеводов в листьях березы повислой

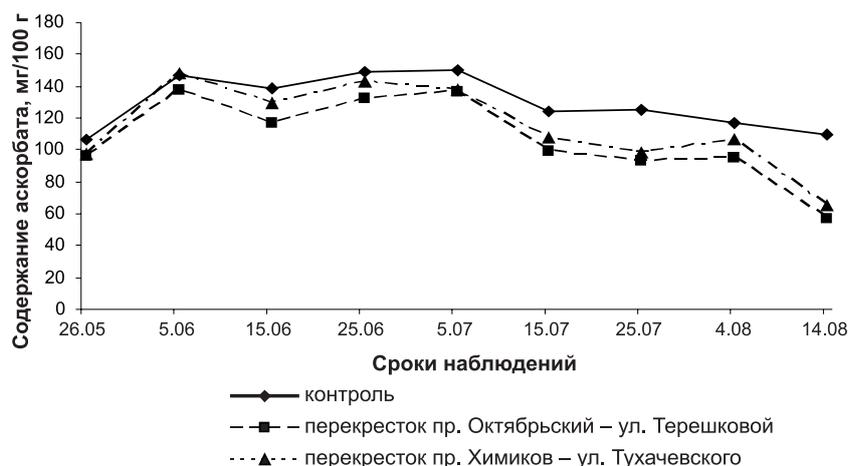


Рис. 2. Динамика содержания аскорбиновой кислоты в листьях березы повислой, произрастающей вблизи перекрестков города Кемерово

бата снижается на 6,1–25,8%, а к концу вегетации (14 августа) – на 48%. Содержание аскорбиновой кислоты в листьях березы повислой, произрастающей вблизи перекрестка «пр. Химиков – ул. Тухачевского» в те же сроки наблюдений снижается по сравнению с контролем на 4,2–21,8%, а 14 августа на 40,7% (рис. 2). Следует отметить, что достоверное снижение содержания аскорбата у березы опытных вариантов отмечается лишь 14 августа – в период начала осеннего листопада (на перекрестке «ул. Терешковой – пр. Октябрьский» наступление осеннего листопада начинается 14 августа, а на перекрестке «пр. Химиков – ул. Тухачевского» – 12 августа).

Рост является важнейшей характеристикой жизнедеятельности растения.

Понятие «рост» отражает количественные изменения, сопровождающие развитие организма или его частей [5]. Наряду с ростом важнейшей характеристикой жизнедеятельности растений в разных экологических условиях служит интенсивность продукционного процесса, т.е. величина аккумуляции сухого вещества. Количественные методы оценки роста позволяют извлекать максимум информации из таких широко употребляемых величин, как вес и площадь листьев [3]. Расчетный метод используется при изучении связи роста и факторов внешней среды, что позволяет выделить среди характеристик жизнедеятельности слабо и тесно связанные с факторами внешней среды.

Анализ кривых сезонной динамики роста боковых побегов показал, что у березы повислой как опытных, так и контрольных вариантов, максимальный прирост боковых побегов отмечается в период с 15 по 25 июня. В срок с 5 по 15 июля данный показатель у деревьев практически не меняется (рис. 3).

У растений, произрастающих в локальных очагах загрязнения выбросами автотранспорта, снижается скорость роста боковых побегов по сравнению с контрольной группой. Максимальное снижение прироста боковых побегов относительно контроля наблюдалось 25 июня – на 25 и 28% соответственно на перекрестках «пр. Октябрьский – ул. Терешковой» и «пр. Химиков – ул. Тухачевского» (рис. 3). В остальные сроки наблюдения отмечено чуть меньшее, но также достоверное снижение прироста: 15 июня на 15,5 и 20%, 5 июля – на 18 и 22% на выше-названных перекрестках соответственно.

Следует отметить, что в динамике за вегетацию прирост боковых побегов березы повислой вблизи перекрестка «пр. Химиков – ул. Тухачевского» снижается в большей степени, в сравнении с перекрестком «пр. Октябрьский – ул. Терешковой».

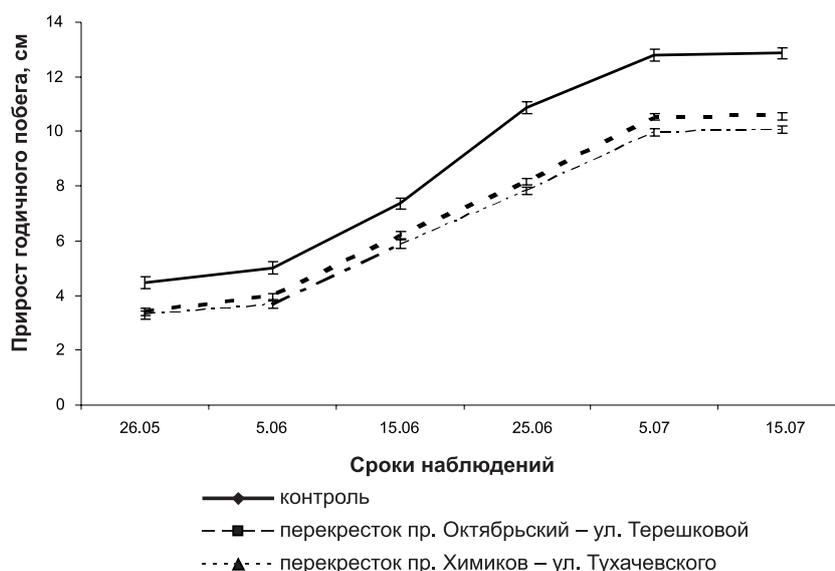


Рис. 3. Динамика сезонного роста боковых побегов березы повислой, произрастающей вблизи перекрестков города Кемерово

Наряду со снижением сезонного прироста боковых побегов у березы, отмечается уменьшение на них количества вырастающих листьев, их площади и массы, причем в большей степени эти изменения выражены у березы, произрастающей вблизи перекрестка «пр. Химиков – ул. Тухачевского» (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Анализ элементов годичного побега у березы повислой, произрастающей вблизи изучаемых перекрестков

Площадки наблюдения	Количество листьев на годичном побеге, шт.	Площадь листьев годичного побега, см ²	Масса листьев на годичном побеге, г	
			сырая	сухая
Контрольные	8,13±0,14	33,21±0,50	1,33±0,02	1,13±0,02
пр. Октябрьский – ул. Терешковой	5,38±0,11*	18,83±0,66*	0,75±0,03*	0,55±0,03*
пр. Химиков – ул. Тухачевского	6,42±0,11*	14,70±0,33*	0,59±0,01*	0,39±0,01*

* Отмечены достоверные отличия при $B \geq 0,95$.

Таким образом, полученные экспериментальные данные показывают, что у березы повислой, произрастающей вблизи изучаемых перекрестков, выбросы автотранспорта вызывают негативные изменения роста и развития.

На молекулярном и клеточном уровнях отмечается снижение синтеза первичных и вторичных метаболитов (углеводов и аскорбиновой кислоты); на уровне побегов отмечается снижение их прироста за вегетацию, числа, площади и массы листьев.

Однако реакция березы на загрязнение изучаемых перекрестков отличается на различных уровнях ее организации. Так, на молекулярном уровне у березы, произрастающей вблизи перекрестка «пр. Октябрьский – ул. Терешковой» (КП=6), отмечается в большей степени снижение синтеза углеводов и аскорбата в сравнении с березой, произрастающей вблизи перекрестка «пр. Химиков – ул. Тухачевского» (КП=4), однако ростовые и продукционные процессы на уровне побега в большей

степени угнетены у березы, произрастающей на последнем перекрестке. Это выражается в более значительном снижении прироста годичного побега (в среднем за вегетацию ниже контроля на 23,3%, и на 3,8% ниже значений у березы, произрастающей на пер. «пр. Октябрьский – ул. Терешковой»), площади листьев (ниже контроля на 55,7%, и на 12,7% ниже значений у березы, произрастающей на втором перекрестке), сухой массы листьев (ниже контроля на 65,5%, и на 14,5% ниже значений у березы, произрастающей на пер. «пр. Октябрьский – ул. Терешковой»).

Полученные экспериментальные данные позволяют предположить, что различный уровень транспортной нагрузки на изучаемых перекрестках города приводит к различным типам разобщения фотосинтеза и роста, которые посредством донорно-акцепторных отношений (ДАО) характеризуют степень надежности растительного организма как целостной системы. В оптимальных условиях ДАО будут сбалансированы, что можно формализовать в виде следующего выражения: фотосинтез = отток ассимилятов.

Под действием стресс-фактора может наблюдаться разобщение фотосинтеза и роста, при этом нарушения ДАО могут происходить по 2-м типам:

- 1) фотосинтез > оттока ассимилятов;
- 2) фотосинтез < оттока ассимилятов.

В первом случае рост растений будет подавлен в большей степени, нежели фотосинтез. Во втором случае в большей степени подавляется фотосинтез, нежели тормозится рост растений [7]. Исходя из вышесказанного, можно предположить, что у березы, произрастающей вблизи перекрестка «пр. Химиков – ул. Тухачевского», нарушения ДАО происходят по первому типу. Это проявляется в преимущественном подавлении у березы ростовых процессов. У березы, произрастающей вблизи перекрестка «пр. Октябрьский – ул. Терешковой» нарушения ДАО происходят по второму типу, что проявляется в большем подавлении синтетических процессов (синтеза углеводов и аскорбиновой кислоты) и в меньшем ростовых.

Выводы

1. Установлено, что у березы повислой, произрастающей вблизи изучаемых перекрестков, выбросы автотранспорта вызывают негативные изменения роста и развития:

- на молекулярном и клеточном уровне отмечается снижение синтеза первичных и вторичных метаболитов (углеводов и аскорбиновой кислоты);
- на уровне побегов снижается их сезонный прирост, число, площадь и масса листьев на годичном отрезке побегов.

2. Выявлены различия в морфофизиологических реакциях березы на степень загрязнения от автотранспортных потоков исследуемых перекрестков: у березы, произрастающей вблизи перекрестка «пр. Октябрьский – ул. Терешковой» (КП=6) отмечается в большей степени снижение синтеза углеводов и аскорбата; ростовые и продукционные процессы на уровне побега в большей степени угнетены у березы, произрастающей вблизи перекрестка «пр. Химиков – ул. Тухачевского» (КП=4), что в обоих случаях является проявлением нарушения донорно-акцепторных отношений между фотосинтезом и ростом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Быков О.Д. Бескамерный способ изучения фотосинтеза. Метод. указ. Л., 1974. 17 с.
2. ГОСТ 24556-89. Методы определения витамина С. М.: Изд-во стандартов, 1989. 15 с.
3. Карманова И.В. Математические методы изучения роста и продуктивности растений. М.: Наука, 1976. 221 с.

4. Материалы к Государственному докладу «О состоянии и охране окружающей природной среды Кемеровской области в 2005 году» / Администрация Кемеровской области. Кемерово: ИНТ, 2006. 320 с.

5. Полевой В.В. Физиология растений. М.: Высш. шк., 1989. 464 с.

6. Смирнова О.В., Чистякова А.А., Попатюк Р.В. и др. Популяционная организация растительного покрова лесных территорий (на примере широколиственных лесов Европейской части России). Пушкино, 1990. 92 с.

7. Усманов И.Ю., Рахманкулова З.Ф., Кулагин А.Ю. Экологическая физиология растений: учебник. М.: Логос, 2001. 224 с.

Поступила 24.08.09

E.Y. Kolmogorova, V.A. Kaydorina, O.A. Neverova

Siberian Division of RAS, Kemerovo Human Ecology Institute

Morphophysiological assessment indices of the woody plants sustainability and pollution of air in Kemerovo

Negative vegetation permutation of the drooping birch (*Betula pendula*) trees growing in traffic zones, caused by the motor transport emissions, have been ascertained. Descent of primary and secondary metabolites (carbohydrates and ascorbic acid) synthesis is noticed. Decrease in number of annotinous sprouts, surface area and foliage mass is registered. Conclusion of air pollution rate in road crossings zones by motor transport emissions is derived.

Key words: drooping birch (*Betula pendula*), motor transport emissions, photosynthetic ability, ascorbic acid, vegetation processes.

УДК 630*266:630*181.7

А.И. Лобанов, Г.С. Варакин

Учреждение Российской академии наук Институт леса им В.Н. Сукачева СО РАН

Лобанов Анатолий Иванович родился в 1952 г., окончил в 1975 г. Сибирский технологический институт, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории лесных культур Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН. Имеет 140 печатных работ в области лесоведения, лесных культур, лесной таксации, лесной фенологии, интродукции древесных растений и защитного лесоразведения.
E-mail: anatoly-lobanov@ksc.krasn.ru



Варакин Геннадий Сергеевич родился в 1957 г., окончил в 1979 г. Сибирский технологический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий лабораторией лесных культур Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН. Имеет 140 печатных работ в области лесоведения, лесных культур, лесной селекции, лесной таксации, биологической рекультивации, интродукции древесных растений и защитного лесоразведения.
E-mail: var@ksc.krasn.ru



ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ПОСАДКИ И МИКРОРЕЛЬЕФА НА РОСТ И СОСТОЯНИЕ ВЯЗА ПРИЗЕМИСТОГО В ПОЛЕЗАЩИТНЫХ ЛЕСНЫХ ПОЛОСАХ СУХОСТЕПНОЙ ЗОНЫ ХАКАСИИ

На основе лесоводственно-таксационной характеристики, полученной на пробных площадях, проведен анализ роста и жизненного состояния вяза приземистого (*Ulmus pumila* L.) в полезащитных лесных полосах сухостепной зоны Хакасии в зависимости от способа посадки и особенностей микро рельефа.

Ключевые слова: вяз приземистый (*Ulmus pumila* L.), полезащитные лесные полосы, способ посадки, микро рельеф, сохранность, особенности роста, жизненное состояние.

Вяз приземистый (*Ulmus pumila* L.) благодаря своим биологическим особенностям является одним из древесных видов, который широко используется при выращивании полезащитных лесных полос в засушливых районах Российской Федерации [3, 8–11, 13, 20]. Он светолюбив, засухоустойчив, хорошо переносит засоление почвы и малотребователен к ее плодородию [2, 4]. В богарных условиях достаточного увлажнения вяз приземистый достигает высоты 20–22 м [12], недостаточного увлажнения – 4,9–9,2 м [5, 6, 17, 18].

При выращивании вяза приземистого в полезащитных лесных полосах, т.е. в несвойственных его естественному ареалу условиях, происходит закономерное изменение морфометрических показателей растений, обусловленное нормой реакции организмов на среду место произрастания. Однако при этом остается невыясненным, каким образом способ посадки вяза приземистого и особенности микро рельефа влияют на изменение морфометрических и лесоводственно-таксационных показателей растений. В связи с этим огромный интерес представляет изучение роста, состояния и морфометрических показателей растений, трансформирующихся под влиянием модифицирующих факторов и являющихся адаптивной реакцией организма на воздействие тех или иных условий среды обитания.

Целью данных исследований явилось изучение роста и жизненного состояния полезащитных лесных полос из вяза приземистого, созданных в 70-х годах прошлого столетия в степных районах Республики Хакасия, в зависимости от способа посадки и особенностей микро рельефа.

© Лобанов А.И., Варакин Г.С., 2012

Объекты и методика исследования

Исследования проведены в вязовых полезащитных лесных полосах разных способов посадки, созданных В.К. Савостьяновым и В.Н. Стребковым в 1977 г. на ранее орошаемых землях в Кайбальской степи, близь села Кирба Бейского района Республики Хакасия.

Территория исследований представляет собой холмисто-увалистую настоящую четырехзлаковую степь. Климат здесь резко континентальный, с малоснежной, холодной зимой и жарким летом. В степной зоне сумма температур выше 10°C за летние месяцы составляет $1800\text{--}1900^{\circ}\text{C}$ при высокой среднемесячной температуре июля ($17,7^{\circ}\text{C}$). Количество годовых осадков редко превышает 300 мм. Среднегодовая температура воздуха отрицательная $-0,4^{\circ}\text{C}$. Для территории весной и осенью характерна повышенная ветровая активность. С сильным ветром ≥ 15 м/сек в году здесь бывает 23,2 дня. Максимальная глубина промерзания почвы достигает 2,5–3,0 м [1].

Исследования проведены на четырех пробных площадях (ПП), заложенных в полезащитных лесных полосах из вяза приземистого. ПП-1 и ПП-2 заложены в 4-рядной лесополосе, созданной посадкой 2-летних сеянцев шахматным способом по схеме $6,0 \times 2,0$ м (рис. 1, а). Площадь питания деревьев на этих участках лесополосы составляет 12 м^2 . Различие между изученными пробными площадями состоит в местоположении участков лесополосы над уровнем моря: ПП-1 была заложена на ровном участке на высоте 312 м, ПП-2 – в ложбине стока на высоте 308 м. Густота посадки в лесополосе на обеих пробных площадях № 1 и 2 составляла 833 шт./га при одинаковой конструкции лесополосы в облиственном состоянии – вертикально-продуваемой (повышенно-продуваемой).

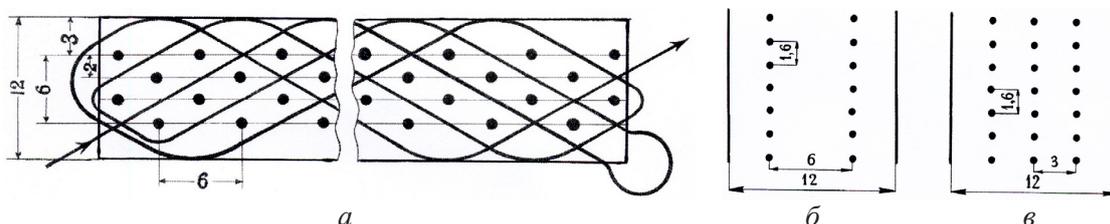


Рис. 1. Схема размещения растений в лесополосах, заложенных способами: шахматным (а), рядовым с широким междурядьем (б) и общепринятым рядовым (в). Размеры даны в метрах. Стрелкой на рис. 1, а показана схема движения тракторного агрегата при диагонально-перекрестном способе обработке почвы

ПП-3 заложена на ровном участке в 2-рядной лесополосе, созданной рядовым способом посадки с широким междурядьем по схеме $6,0 \times 1,6$ м (рис. 1, б). Высота местности над уровнем моря здесь составляет 307 м. Первоначальная густота посадки 2-летних сеянцев в лесополосе равна 1042 шт./га при площади питания деревьев $9,6\text{ м}^2$. Конструкция лесополосы в облиственном состоянии – продуваемая.

ПП-4 заложена на ровном участке в 3-рядной лесополосе, созданной общепринятым рядовым способом посадки. Она создана по схеме посадки $3,0 \times 1,6$ м (рис. 1, в). Первоначальная густота посадки 2-летних сеянцев в лесополосе составляла 2083 шт./га при площади питания древесных растений $4,8\text{ м}^2$. Конструкция лесной полосы в облиственном состоянии была продуваемой. Высота местности над уровнем моря – 312 м.

Почва под лесополосами на всех четырех пробных площадях – каштановая слаборазвитая супесчаная. Под посадку сеянцев она была тщательно подготовлена по системе 2-летнего пара, защищена от дефляции размещением с наветренной стороны буферными полосами многолетних трав и посевом кулис из горчицы [17].

На пробных площадях было изучено жизненное состояние вязовых лесонасаждений, их основные лесоводственно-таксационные показатели (высота деревьев, диаметр на высоте 1,3 м, высота ствола до начала живой кроны, высота ствола до максимального поперечника кроны, проекция кроны, сумма площадей сечений, запас древостоя).

Древостой в лесополосах таксировали методом закладки пробных площадей в соответствии с требованиями ОСТ [14]. Точные географические координаты ПП в трехмерном пространстве, снятые с приемника GPS, приводятся в тексте. Перечет деревьев выполняли по рядам, ступеням толщины и категориям жизненного состояния. По шкале действующих санитарных правил в лесах РФ [19] к I категории относятся деревья без признаков ослабления, ко II – ослабленные в результате засух, пожаров, фито- и энтомовредителей (в кроне отмечаются отдельные сухие ветви), к III – сильно ослабленные (сухих ветвей до 50%), к IV – усыхающие (сухих ветвей более 50%, деревья часто суховершинят), к V – сухостой текущего года и к VI – сухостой прошлых лет. Категорию жизненного состояния древостоя устанавливали как средневзвешенную по объему стволов. Для изучения хода роста спиливали модельные деревья. Ствол модельного дерева делили на 1-метровые секции и вершинку. Поперечные спилы делали на высоте пня, на середине секций и у основания вершинки. В камеральных условиях производили погоди́чный обмер полученных спилов. Запас древостоев оценивали по нормативам для таксации запаса и фитомассы защитных лесных насаждений юга Средней Сибири [15]. Все данные были обработаны в базе данных, разработанной в среде MS Access и в программе Statistica 6,0.

Результаты и их обсуждение

По результатам исследования на четырех пробных площадях была получена лесоводственно-таксационная характеристика лесополос, которая приведена в таблице.

Лесоводственно-таксационная характеристика лесных полос из вяза приземистого в степной зоне Республики Хакасия

Показатель	ПП-1	ПП-2	ПП-3	ПП-4
Сохранность, %	82,9	96,2	96,7	94,7
Средняя категория состояния	2,2	1,7	3,2	2,8
Средняя высота, м	8,9	11,9	9,2	9,5
Средний диаметр, см	16,5	20,2	14,9	13,2
Средняя высота до начала кроны, м	2,0	1,5	2,5	2,0
Средняя высота до максимального поперечника кроны, м	5,4	1,5	7,9	8,5
Ширина кроны в ряду, м	5,2	5,8	3,3	3,8
Ширина кроны поперек ряда, м	5,7	7,3	4,8	4,4
Сумма площадей сечений, м ² /га	10,96	24,47	23,35	24,04
Запас растущих деревьев, м ³ /га	35	102,3	88	115
Запас сухостоя, м ³ /га	0,0	0,0	0,48	0,87

Анализ данных, приведенных в таблице, свидетельствует о том, что в созданных полосах в сухостепной зоне Республики Хакасия посадки рядовым способом с широким 6-метровым междурядьем и шахматным способом в ложбинах стока, где влажность почвы в период вегетационного периода выше, сохранность вяза больше (96,2–96,7%), чем в общепринятых рядовых посадках (94,7%). Самая низкая

сохранность (82,9%) отмечена на ровном участке лесополосы с шахматным размещением деревьев [7].

Лесная полоса из вяза приземистого, созданная 31 год назад шахматным способом посадки, отличается лучшим состоянием: средняя категория на ПП-1 – 2,2, а на ПП-2 – 1,7. Лучшему жизненному состоянию лесополосы на ПП-2, заложенной в ложбине стока, способствует дополнительное накопление влаги за счет стока жидких осадков и снегозадержания в многоснежные зимы зарослями облепихи, размещенными в непосредственной близости от наветренной и заветренной закраек лесополосы. Необходимо отметить, что усыхание лесной полосы из вяза, созданной шахматным способом посадки, только начинается. Доля усыхающих деревьев здесь составляет от 6 до 17% от общего числа деревьев. В лесных полосах, созданных способом рядовой посадки с широким междурядьем (ПП-3), доля усыхающих деревьев составляет 42%, поэтому средняя категория жизненного состояния деревьев здесь самая низкая и равна 3,2 (рис. 2).

Установлено, что в 31-летней лесополосе шахматного способа посадки на ПП-1 вяз приземистый имеет среднюю высоту 8,9 м при среднем диаметре 16,5 см. Наименьшую высоту (7,8–8,8 м) он имеет во внутренних рядах лесополосы, а максимальную (9,5 м) – в заветренном ряду. Запас растущего древостоя вяза на 1 га в целом по этой лесополосе составил 35 м³. В этой же лесополосе, но на участке в ложбине стока (ПП-2) при наличии зарослей облепихи с наветренной и заветренной сторон недалеко от закраек, средняя высота вяза по сравнению с ПП-1 выше на 3 м, а запас древостоя больше на 67,3 м³/га. В 2-рядной вязовой полосе с широким 6-метровым междурядьем (ПП-3) деревья вяза в этом же возрасте достигли средней высоты 9,2 м при среднем диаметре 14,9 см. При этом запас растущего древостоя составил 88 м³/га. В вязовой полосе с общепринятым рядовым способом посадки с 3-метровыми междурядьями (ПП-4) средняя высота деревьев вяза достигла 9,5 м при среднем диаметре 13,2 см. При этом запас растущего древостоя составил 115 м³/га.

Кульминация прироста в высоту в лесополосе шахматного способа посадки, размещенной в ложбине стока (ПП-2), а также в 2-рядной полосе с широким междурядьем (ПП-3), наступила соответственно в возрасте 12–13 и 11–12 лет, тогда как в лесополосе шахматного способа посадки, размещенной на ровном участке (ПП-1), а также в 3-рядной полосе общепринятого способа посадки (ПП-4), наступила уже соответственно в возрасте 6–7 и 9–10 лет (рис. 3, а).

Кривые распределений прироста вяза приземистого по диаметру можно выделить в две группы, в зависимости от способов посадки лесополос. Кривые, описывающие траекторию прироста вяза по диаметру, в лесополосе с шахматным способом посадки (ПП-1 и ПП-2) до 10-летнего возраста идут почти синхронно. На ровном участке лесополосы шахматного способа посадки (ПП-1) период максимального прироста (0,88 м/год) завершился в 10–11-летнем возрасте. На участке

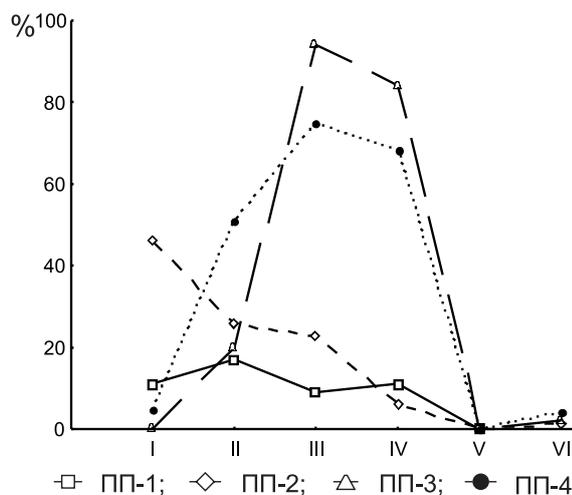


Рис. 2. Распределение вяза приземистого по категориям жизненного состояния на пробных площадях № 1-4

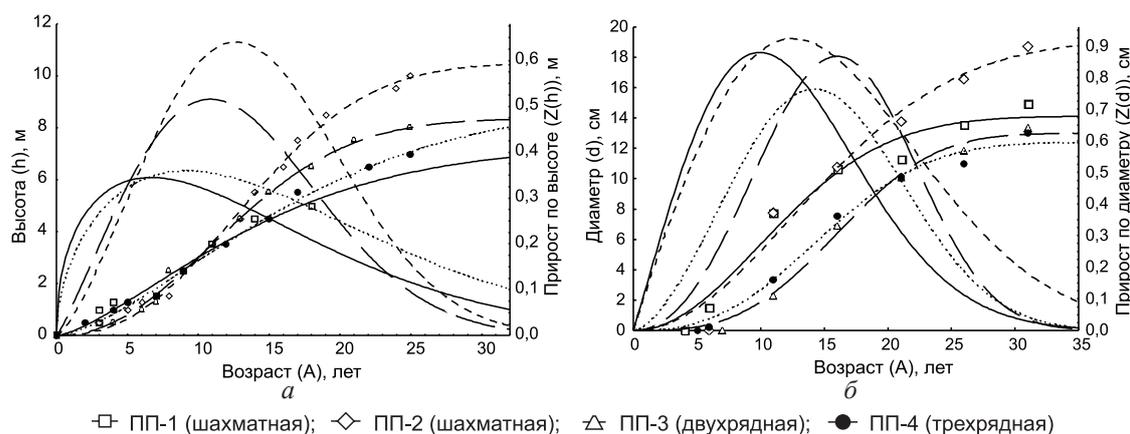


Рис. 3. Ход роста и динамика текущего прироста по высоте (а) и диаметру (б) у вяза приземистого в лесополосах шахматного и рядового способов посадки. Кривые с маркерами – траектория роста, кривые без маркера – траектория прироста

полосы того же способа посадки (ПП-2), но размещенного в ложбине стока, максимальный прирост у вяза наступил несколько позднее (в 13–14 лет), составил 0,93 м/год и был продолжительнее по времени (рис. 3, б).

Анализ роста вязовых полезащитных лесных полос показывает, что деревья, произрастающие на ПП-2 (шахматная посадка) в естественном микропонижении, обладают достоверно большими показателями по следующим анализируемым показателям – высоте ствола, диаметру ствола на высоте 1,3 м, ширине кроны вдоль и поперек ряда. Деревья, произрастающие на ровном участке лесополосы (ПП-1), созданной тем же шахматным способом, имеют показатели существенно меньшие, чем в естественном микропонижении (ложбине стока) на ПП-2. Достоверно также различается по средней высоте и среднему диаметру вяз, произрастающий в лесополосе с шахматным (ПП-2) и традиционно рядовым способом посадки деревьев (ПП-4).

Таким образом, полученные результаты позволяют констатировать, что на рост полезащитных лесных полос из вяза приземистого в степной зоне Хакасии оказывает влияние не только способ их посадки, но и особенности микрорельефа. Это связано с большим сохранением и накоплением доступной для древесных растений почвенной влаги в пониженных местах (ложбинах стока), недостаток которой в степных условиях Хакасии является фактором, лимитирующим рост древесных растений [16]. Все обследованные лесные полосы шахматного и рядового способов посадки достигли возраста естественной спелости и вступили в стадию интенсивного естественного изреживания. Это позволяет считать, что в сухостепной зоне Хакасии долговечность вязовых полезащитных лесных полос в зависимости от способов их посадки, особенностей микрорельефа и условий местопроизрастания варьирует от 33 до 38 лет.

Выводы

1. На рост и жизненное состояние полезащитных лесных полос из вяза приземистого в сухостепной зоне Хакасии на каштановых супесчаных почвах оказывает влияние не только способ их посадки, но и особенности микрорельефа.

2. Вяз приземистый в лесных полосах, созданных шахматным, рядовым с широкими междурядьями и традиционным рядовым способами при своевременно проведенных агротехнических и лесоводственных уходах, имеет в 33-летнем биологическом возрасте высокую сохранность (82,9–96,7%). Это позволяет в перспективе размещать лесные полосы разных способов посадки поочередно, что связано с их мелиоративными свойствами в разные по обилию снега годы.

3. Лучшее жизненное состояние вяза и его удовлетворительный рост на ровных участках и в естественных микропонижениях лесополос с шахматным размещением деревьев свидетельствуют о том, что этот способ посадки относится к вполне перспективным в агролесомелиорации и защитном лесоразведении на каштановых супесчаных почвах. Вяз приземистый является одной из главных пород, которая и в дальнейшем может быть использована при создании новых систем полезащитных насаждений в богарных условиях и орошаемых землях сухостепной зоны Республики Хакасия.

4. Для достижения оптимального защитного, средообразующего и мелиоративного эффекта в системе вновь создаваемых вязовых полезащитных лесополос расстояние между ними на каштановых супесчаных почвах степной зоны Хакасии должно быть снижено с 500 до 220–280 м, а на мало лесопригодных почвах – до 150–210 м.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агроклиматический справочник по Красноярскому краю и Тувинской автономной области. Л.: Гидрометеоиздат, 1961. 289 с.
2. Адамов Е.А. Об устойчивости вяза приземистого на темно-каштановых солонцеватых почвах / Е.А. Адамов // Научные основы восстановления лесного фонда, повышения продуктивности лесов Казахстана. Кокчетав: «Кайнар», 1970. С. 114–117.
3. Атаманов Р.С. Создание защитных лесонасаждений в Туве. Советы агролесомелиоратору / Р.С. Атаманов. Кызыл: Тувинск. кн. изд-во, 1980. 118 с.
4. Бобринев В.П. Экология лесных полос в Восточном Забайкалье / В.П. Бобринев. Новосибирск: Наука, 1988. 159 с.
5. Вараксин Г.С. Состояние полезащитных полос вяза приземистого в сухостепных районах юга Средней Сибири / Г.С. Вараксин, В.И. Поляков, В.С. Литвинова, А.А. Ибе // Лесная таксация и лесоустройство. Красноярск: СибГТУ, 2007. Вып. 1 (37). С. 11–14.
6. Вараксин Г.С. Устойчивость полезащитных насаждений на юге Средней Сибири / Г.С. Вараксин, А.И. Лобанов, М.А. Люминарская [и др.] // Современное состояние, проблемы и перспективы лесовосстановления и лесоразведения на генетико-селекционной основе: материалы междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 8–10 сент. 2009 г. / под ред. А.И. Ковалевич. Гомель: Институт леса НАН Беларуси, 2009. С. 141–144.
7. Вараксин Г.С. Оценка состояния полезащитных полос из вяза приземистого в сухостепных условиях Хакасии / Г.С. Вараксин, А.И. Лобанов, С.Г. Вараксина, О.Г. Шангова // Экологические последствия биосферных процессов в экотонной зоне Южной Сибири и Центральной Азии: тр. междунар. конф. Том 2. Стендовые доклады, Улан-Батор (Монголия), 6–8 сент. 2010 г. Улан-Батор: Изд-во Бэмби сан, 2010. С. 76–78.
8. Князева Л.А. Защитное лесоразведение в сухой степи Западного Казахстана / Л.А. Князева. М.: Наука, 1975. 160 с.
9. Лиховид Н.И. Интродукция древесных растений в аридных условиях юга Средней Сибири / Н.И. Лиховид. Абакан: «Фирма «Март», 2007. 288 с.
10. Лобанов А.И. Методологические и экологические основы создания защитных насаждений в южных районах Средней Сибири / А.И. Лобанов, Г.С. Вараксин, В.К. Савостьянов // Природообустройство. 2009. № 1. С. 24–28.
11. Лобанов А.И. Концепция создания нового поколения защитных лесных насаждений в аридной зоне Средней Сибири [Текст] / А.И. Лобанов // Степи Северной Евразии: материалы V междунар. симпозиума / под ред. чл.-корр. А.А. Чибилёва. Оренбург: ИПК «Газпромпечатъ» ООО «Оренбурггазпромсервис», 2009. С. 437–441.
12. Лысова Н.В. Вяз мелколистный в защитном лесоразведении / Н.В. Лысова // Лесн. хоз-во. 1975. № 1. С. 44–46.
13. Озолин Г.П. Деревья и кустарники для защитного лесоразведения / Г.П. Озолин, В.А. Каргов, Н.В. Лысова, Л.С. Савельева. М.: Лесн. пром-сть, 1974. 152 с.
14. ОСТ 16128-90. Пробные площади лесоустроительные. М.: Гослесхоз СССР, 1990. 8 с.

15. Поляков В.И. Основные нормативы для таксации линейных степных насаждений юга Красноярского края, Хакасии и Тывы / В.И. Поляков, Г.С. Вараксин, В.С. Литвинова, А.И. Лобанов, А.А. Ибе // Лесная таксация и лесоустройство. Красноярск: СибГТУ, 2008. № 1 (39). С. 59–64.
16. Савин Е.Н. Выращивание лесных полос в степях Сибири / Е.Н. Савин, А.И. Лобанов, В.Н. Невзоров [и др.]. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 102 с.
17. Савостьянов В.К. Влияние взглядов И.И. Сиягина о площади питания растений на обоснование густоты деревьев в защитных лесных насаждениях аридной зоны / В.К. Савостьянов // Деятельность академика И.И. Сиягина в становлении и развитии сибирской аграрной науки: материалы междунар. науч. конф., посвящ. 95-летию со дня рождения акад. И.И. Сиягина, Новосибирск, 20–22 марта 2006 г. Новосибирск, 2007. С. 209–214.
18. Савостьянов В.К. Агролесомелиоративное районирование засушливой зоны юга Средней Сибири и особенности создания защитных лесных насаждений: рекомендации / В.К. Савостьянов. Абакан: Изд-во Хакас. гос. ун-та, 2009. 24 с.
19. Санитарные правила в лесах Российской Федерации. М.: ВНИИЦлесресурс, 1998. 25 с.
20. Степанов А.М. Полезащитное лесоразведение – фактор повышения продуктивности пашни и интенсификации земледелия / А.М. Степанов, Ю.И. Васильев // Агролесомелиоративная наука в XX веке. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2001. С. 67–113.

Поступила 10.03.11

A.I. Lobanov, G.S. Varaksin

Siberian Division of RAS, Forestry Institute named after V.N.Sukachev

Effect of seeding method and microtopography on vegetation and condition of Siberian elm stands in shelter forest belts of arid steppe zone of Khakassia

The results of analysis of Siberian elm (*Ulmus pumila*) vegetation and life condition in shelter forest belts of arid steppe zone of Khakassia are presented. Silvicultural and forest inventory characteristics of the plots in dependence on seeding method and microtopography specificities have been derived.

Key words: siberian elm (*Ulmus pumila*), shelter forest belts, seeding method, microtopography, preservation, peculiarities of growth, life condition.

УДК 630.231.324

В.Г. Сергиенко, О.И. Соколова

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства

Сергиенко Валерий Гаврилович родился в 1947 г., окончил в 1974 г. Ленинградский государственный университет, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории лесоводства С.-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. Имеет более 65 печатных работ по вопросам экологии, охраны природы, биоразнообразия лесных и тундровых биогеоценозов, флористики, лесоводства и лесовосстановления.
E-mail: silvics@NP10489.spb.edu



Соколова Ольга Ивановна родилась в 1978 г., окончила в 2004 г. С.-Петербургскую лесотехническую академию, инженер лаборатории лесоводства С.-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. Имеет 2 печатные работы по вопросам лесоводства.
E-mail: silvics@NP10489.spb.edu



ДИНАМИКА ЖИВОГО НАПОЧВЕННОГО ПОКРОВА И ЕСТЕСТВЕННОЕ ЛЕСОВОЗОБНОВЛЕНИЕ НА ВЫРУБКАХ

Исследована динамика живого напочвенного покрова на уровне парцеллярной структуры, естественное возобновление хвойных пород и зарастание лиственными породами свежих вырубок в черничных лесорастительных условиях в первые годы после рубки материнского древостоя.

Ключевые слова: вырубка, фитоценоз, живой напочвенный покров, парцелла, естественное лесовозобновление, ель, сосна, береза.

Появление всходов ели и сосны на вырубках при естественном лесовозобновлении зависит от наличия семеносящих деревьев главной породы в стенах леса и обсеменителей, оставленных на вырубке, а также от структуры и динамики живого напочвенного покрова (ЖНП) и зарастания мелколиственными породами в первые годы после рубки. Изучение динамики ЖНП и зарастания вырубок нежелательными древесными породами позволяют определить благоприятные условия для прорастания налетевших семян и роста всходов хвойных.

Актуальность исследований тесно связана с одним из важных вопросов лесоводства – необходимостью восстановления коренных лесных фитоценозов на вырубках.

Целью исследований было изучение начального этапа лесовозобновления на вырубках – динамика парцеллярной структуры ЖНП, особенности и оптимальные условия естественного возобновления хвойных и зарастания мелколиственными породами. Объектами исследований являлись вырубки ОЛХ «Сиверский лес» Гатчинского р-на Ленинградской обл.

Экспериментальный материал собирался в течение 10 лет на постоянных пробных площадях (ППП), заложенных в 1997 г. Рубки проводились в черничных лесорастительных условиях с долей участия хвойных в составе от 6 до 9 единиц, с примесью березы. Для учета ЖНП в первый год после рубки древостоя были выделены парцеллы с однородным составом доминирующих видов. В первые 4 года и через 10 лет после рубки в каждой из парцелл проводились учеты наличия судистых растений и лесных мхов (видовой состав и встречаемость). Выявлялось

© Сергиенко В.Г., Соколова О.И., 2012

общее проективное покрытие почвы травяно-кустарничковым и моховым ярусами. Учеты количества всходов древесных пород проводились осенью на постоянных и временных учетных площадках в 1 м². В разные годы было обследовано естественное лесовозобновление на 37 вырубках. При изучении динамики ЖНП и естественного возобновления хвойных и лиственных пород использовались общепринятые методики [2, 3, 11].

До рубки древостоя ЖНП был сравнительно однородным. Доминировали черника, брусника, марьянник, вереск, сфагновые и зеленые мхи (политрихум, хилокомиум, птилиум, ритидиадельфус, плеуроциум и виды дикранума) с общим проективным покрытием 60–80%. Проективное покрытие травянистыми растениями после сплошной рубки и повреждений при трелевке леса уменьшилось в среднем до 10–30%, а на отдельных участках (волоках, кострищах и минерализованной почве) образовался мертвый покров с порубочными остатками.

С давностью рубки в ЖНП произошли изменения. Проективное покрытие почвы травянистыми растениями увеличилось с 10–20% в первый год до 70–90% на четвертый год. В табл. 1 приведена динамика ЖНП и общее проективное покрытие в первые 4 года после рубки на ППП 1. В первый год после рубки напочвенный покров был представлен черникой, брусникой, небольшими куртинами осок, ситников, пушицы, мятлика, седмичника, вереска, ландыша, марьянника. Проективное покрытие почвы не превышало 30%, а в осоково-моховой парцелле доля сфагновых мхов преобладала.

На второй год появились иван-чай, вейники, мятлики, щучка дернистая, луговик извилистый, а на более дренированных парцеллах (кипрейная и злаково-ландышевая) – малина, костяника, лютик, вероника, золотарник. На переувлажненных парцеллах (осоково-моховая, моховая и злаково-хвощевая) доминировали сфагнум, хвощ, осоки и ситники. Проективное покрытие ЖНП увеличилось до 50–70%.

В третий вегетационный период после рубки в состав травостоя входило уже 28 видов растений. Еще более обозначилась роль злаков (щучки дернистой и вейников) в качестве доминантов, а их доля в травостое злаковых и злаково-кустарничковых парцелл достигла 20%. Это привело к упрощению структуры фитоценозов.

На четвертый год после рубки отмечено исчезновение участков с минерализованной поверхностью почвы и мертвопокровных. На их месте в результате разрастания травяного покрова и мхов образовались злаково-травяные и травяно-кустарничковые парцеллы со средней густотой мохового яруса из долгомошных, зеленомошных синузий. В отличие от вырубке первого года, образовался хорошо развитый травяно-кустарничковый ярус с обилием злаков. На большинстве парцелл совместно со злаками в травостое стали преобладать виды вегетативного размножения (малина, костяника, ландыш и др.), возрос удельный вес видов семенного происхождения (иван-чай, вейники, фиалка и др.). Преобладающими видами на вырубке стали щучка, вейники, иван-чай. Задернение злаками усилилось. Их доля в проективном покрытии увеличилась до 35%. В злаковых и злаково-травяных парцеллах биомасса злаков составила 40–50% от общей биомассы ЖНП на этих парцеллах. По истечению четырех лет после рубки можно было укрупнить парцеллы, уменьшив их количество. В результате сукцессий ЖНП площадь злаковых и злаково-травяных парцелл с преобладанием вейников, щучки и иван-чая увеличилась за счет уменьшения площади других парцелл.

Таким образом, в первые годы после рубки из ЖНП на месте постоянных спутников древостоя (черника, брусника, грушанки, лесные мхи и др.), важных с

Т а б л и ц а 1

Динамика живого напочвенного покрова на IIII 1 в первые 4 года после рубки

Парцеллы, зафиксированные на вырубке 1-го года	Площадь, %	Год после рубки древостоя											
		Первый		Второй		Третий		Четвертый					
		А	Б	А	Б	А	Б	А	Б				
Осоково-моховая	16	Сфагнум, осоки, ситники	30	Сфагнум, осоки, майник, черника, ситники	60	Сфагнум, черника, пушица, осоки, ситники	70	Осоки, сфагнум, ситники, черника	80				
Злаково-хвощевая	8	Черника, осоки, хвощ, зеленые, мхи, ситники	10	Черника, хвощ, осоки, щучка, ситники	55	Щучка, хвощ, черника, осоки, ситники	75	Хвощ, иван-чай, осоки, черника, ситники	80				
Моховая	7	Зеленые мхи, осоки, сфагнум, черника, ситники	30	Зеленые мхи, осоки, ситники, хвощ, сфагнум, черника, майник	50	Зеленые мхи, осоки, сфагнум, хвощ, майник, черника	55	Мхи, хвощ, осоки, ситник, черника, майник	70				
Злаково-черничная	4	Черника, вейники, седмичник	30	Вейники, черника, щучка, седмичник	60	Вейники, щучка, иван-чай, черника	80	Щучка, иван-чай, вейники, ситник	90				
Чернично-брусничная	8	Щучка, черника, брусника, вереск	20	Щучка, черника, брусника, иван-чай	70	Щучка, иван-чай, вереск, брусника	80	Щучка, иван-чай, брусника	90				
Злаково-брусничная	10	Брусника, вейники, черника	20	Брусника, вейники, щучка, марьянник	70	Вейники, брусника, марьянник, щучка,	80	Вейники, щучка, брусника	80				
Кисличная	4	Кислица, вейники, ветреница	15	Вейники, иван-чай, кислица, дудник	70	Вейники, иван-чай, ветреница, дудник	75	Иван-чай, вейники, ландыш	80				
Злаково-ландышеская	13	Ландыш, майник, костяника, кислица	10	Ландыш, вейники, ница, вероника	60	Вейники, ландыш, золотарник, малина	75	Вейники, иван-чай, малина	90				
Кипрейная	3	Иван-чай, вейники	10	Иван-чай, щучка, вейники, малина	70	Иван-чай, щучка, вейники, малина	70	Иван-чай, щучка, вейники, малина	80				
Злаковая	27	Вейники, щучка, черника, иван-чай, марьянник	15	Вейники, щучка, иван-чай, марьянник, черника, золотарник, малина, дудник	60	Вейники, иван-чай, марьянник, калган, черника, малина, золотарник, дудник	75	Вейники, щучка, дудник, иван-чай, золотарник, малина, калган, дудник	90				

Примечание. А – основные виды напочвенного покрова, Б – проективное покрытие, %.

точки зрения сохранения стабильности лесных фитоценозов, появляются вейники, мятлики, щучка, полевицы и другие злаки с примесью заносных видов.

После рубки формируются различные типы вырубок, для каждой из которых характерен ЖНП определенного, более или менее сходного состава, строения и примерно одинаково изменяющийся с давностью рубки [1, 3, 7, 9]. Парцеллярный уровень организации растительных сообществ на вырубках хорошо проявляется на начальных этапах образования ценоза из разных групп растений. Каждая из таких групп – фрагмент с плотным вейниковым и травяно-кустарничковым ярусом, или с доминированием молодой порослевой осины и семенной березы на участках с различными нарушениями почвы и ЖНП при механизированных лесозаготовках [8, 10].

Процесс формирования вторичных древостоев после рубки зависит не только от нарушенности ЖНП и почвы в результате валки леса и трелевки, приводящих к той или иной степени минерализации почвы, но и от прорастания налетевших семян от стены леса, появления всходов и последующего выживания подроста, сохранившего жизнеспособность на вырубке [4].

При наличии семеносящих деревьев в стенах леса на вырубке появляется достаточное количество самосева березы и хвойных пород разного возраста. В табл. 2 приведено среднее количество самосева березы на ППП 2 в течение первых трех лет после рубки. В конце вегетационного сезона, на третий год после рубки, на всей площади вырубке с учетом доли каждой парцеллы имеется 60–70 тыс. экз./га самосева березы, среди которого половина представлена одно- и двухлетними сеянцами. Наименьшее количество самосева отмечено на травяно-кустарничковых и зеленомошно-травяно-кустарничковых парцеллах.

Т а б л и ц а 2

Семенное возобновление березы на ППП 2 в первые 3 года после рубки

Парцеллы, зафиксированные на вырубке 1-го года	Пло- щадь, %	Среднее количество самосева на вырубке, экз./м ² ($\bar{x} \pm t S_x$)		
		1-го года (1-летнего)	2-го года (1- и 2-летнего)	3-го года (1-, 2- и 3-летнего)
Сфагновые	7	11,9±2,9	8,1±2,0	8,1±2,0
С минерализованной по- верхностью почвы	10	5,0±0,8	6,4±1,1	7,0±1,1
Мертвопокровные	30	3,7±0,4	5,5±0,6	6,5±0,7
Сфагново-травяно-кустар- ничковые	40	13,3±1,4	8,8±0,9	7,8±0,8
Травяно-кустарничковые	10	6,1±1,0	1,4±0,2	1,7±0,3
Зеленомошно-травяно- кустарничковые	3	3,0±0,7	1,1±0,3	0,9±0,2
На всей вырубке	100	8,5±0,6	6,5±0,4	6,5±0,4

С давностью рубки ухудшаются условия для возобновления хвойных пород. Это связано с быстрым зарастанием вырубке в первые годы лиственными породами и возрастанием отрицательного влияния биомассы ЖНП на выживаемость хвойных.

На всхожесть семян и сохранность всходов хвойных на вырубках в черничных лесорастительных условиях влияет не только степень развития ЖНП, но и состав субстрата, на который попали семена. Наиболее благоприятные условия для прорастания семян ели и сосны наблюдались в первые годы после рубки в па-

секах, где напочвенный покров был максимально нарушен, а почва перемешана с подстилкой и минерализована. Количество самосева, сохранившегося на таких парцеллах, было в несколько раз больше, чем на парцеллах с участием в травостое кустарничков и зеленых мхов.

С увеличением возраста вырубки на естественное лесовозобновление влияют изменение горизонтальной структуры, видовой состав и плотность ЖНП в разных парцеллах. Если судить исключительно по состоянию ЖНП, более или менее благоприятные условия для прорастания семян, появления и выживания всходов хвойных пород на вырубках сохраняются лишь в течение первого и второго года после рубки древостоя. В дальнейшем возможность появления и выживания всходов существенно снижается. Одной из основных причин неудовлетворительного семенного возобновления хвойных пород на третий и следующие годы после рубки является быстрое и обильное развитие ЖНП и возобновление лиственных пород, которые препятствуют прорастанию семян и вызывают гибель части самосева ели и сосны. Всходы хвойных пород не выдерживают конкуренции с их стороны и погибают [7, 8].

По методике А.Н. Мартынова [5, 6] для учета встречаемости выжившего подростка на вырубках в черничных лесорастительных условиях было обследовано 37 производственных вариантов рубок в возрасте 6–7 лет. Данные табл. 3 показывают, что среднее количество подростка лиственных пород на вырубках больше в 8,7 раза, чем хвойных. Среди лиственных березы и осины почти одинаковое количество.

Таблица 3

**Характеристика подростка на 6–7-летних вырубках
в черничных лесорастительных условиях**

Показатель	Порода				
	Сосна	Ель	Береза	Осина	Прочие лиственные
Количество, тыс. экз./га	0,74	1,25	6,83	6,65	3,90
Возраст, лет	7	6	6	7	7
Высота, м	0,70	0,60	1,50	2,70	2,00

Таким образом, после рубки древостоя на вырубках изменяются микроклиматические условия, которые вызывают усиленное развитие ЖНП особенно злаков, семенное возобновление березы и других мелколиственных пород. Достаточно благоприятные условия для роста всходов хвойных создаются на участках парцелл с органо-минеральной почвой, где еще нет конкуренции со стороны растений и мелколиственных пород за влагу и элементы почвенного питания. Эти участки заселяются травянистыми растениями позднее и поэтому снижается конкуренция с их стороны, а также снижается вероятность гибели самосева хвойных.

Через 10 лет после рубки материнского древостоя на опытном объекте (ППП 1) были проведены учеты ЖНП и естественного возобновления древесных пород. За этот период в парцеллярной структуре произошли существенные изменения. В результате обильного разрастания травяной растительности с преобладанием злаков и иван-чая и удовлетворительно развившегося подростка лиственных пород на вырубке количество парцелл уменьшилось с 10 до 5. Наибольшую площадь занимают злаковые парцеллы с интенсивно развитым подростом лиственных и в меньшей степени хвойных пород.

В табл. 4 приведена характеристика подростка хвойных и лиственных на объединенных парцеллах. Площадь вырубки между ними распределилась следую-

щим образом. Наибольшую часть вырубki заняли лиственная злаковая и сосновая брусничная парцеллы (соответственно, 35 и 20% от всей площади вырубki). Сосновая моховая и сосновая злаково-моховая – по 16% каждая, а на сосновую осоково-хвощевую приходится 13%.

Т а б л и ц а 4

**Характеристика подроста хвойных и лиственных на ППП 1
через 10 лет после рубки**

Парцелла	Пло- щадь, %	Сосна		Ель		Береза		Осина	
		А	Б	А	Б	А	Б	А	Б
Злаковая	35	1,2	1,3	0,5	1,1	8,2	2,2	4,1	1,8
Злаково-моховая	16	5,0	1,4	2,3	0,9	3,0	1,9	–	–
Брусничная	20	8,2	1,3	1,2	0,6	0,9	2,0	–	–
Моховая	16	2,0	1,4	2,7	1,1	7,0	2,3	–	–
Осоково-хвощевая	13	2,1	1,2	1,5	0,8	5,2	2,0	–	–

Примечание. А – численность, тыс. экз./га; Б – средняя высота, м; прочерк означает отсутствие осины на данных парцеллах.

Успешное возобновление хвойных пород отмечено на сосновых брусничной и злаково-моховой парцеллах (соответственно 9,4 и 7,3 тыс. экз./га). Наименьшее количество хвойного подроста наблюдалось на злаковой и осоково-хвощевой парцеллах (соответственно 1,7 и 3,6 тыс. экз./га). Проективное покрытие злаками здесь составило около 80%. Наибольшее количество подроста сосны сохранилось на брусничной и злаково-моховой парцеллах, ели – на моховой и злаково-моховой. Максимальное количество березы отмечено на злаковой и наименьшее на брусничной, а возобновление порослевой осины только на злаковой парцелле.

Выявленные различия в естественном лесовозобновлении на ППП 1 связаны с неоднородностью почвенных условий. Выделены две почвенные разности: плодородная почва – дерново-слабоподзолистая глееватая среднесуглинистая на моренных глинах (лиственная злаковая парцелла) и менее плодородная – дерново-слабоподзолистая супесчаная на супесчано-песчаных моренных наносах (парцеллы с сосной).

Различия в численности подроста хвойных пород в злаково-моховой парцелле, в сравнении со злаковой, характеризуются достаточно высоким критерием достоверности различия средних значений (t -критерий) для сосны и ели, соответственно 6,7 и 3,2. Условия на брусничной парцелле более благоприятны для возобновления сосны, чем на злаковой (t -критерий равен 6,8).

Выводы

В течение 10 лет после рубки древостоя произошли существенные изменения парцеллярной структуры ЖНП. Увеличение доли злаковых растений привело к объединению и увеличению площади злаковых парцелл. Упрощение структуры ЖНП повлияло на естественное лесовозобновление.

Наиболее благоприятные условия для естественного возобновления хвойных создаются на участках (в пределах парцелл) с отсутствующим или нарушенным ЖНП и с взрыхленной минерализованной почвой. Это обеспечивает относительно успешное прорастание семян и появление всходов.

Быстрое развитие ЖНП практически исключает, начиная с третьего и четвертого года после рубки древостоя, возможность появления новых всходов

хвойных пород и приводит к гибели части самосева, появившегося в первые два года.

Наиболее успешное возобновление ели и сосны отмечено в брусничной и злаково-моховой парцеллах, наименьшее – в злаковой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Воронова В.С.* Появление всходов хвойных пород на вырубках при различном составе наземного покрова / В.С. Воронова // Изв. Карельского и Кольского филиалов АН. 1958. № 5. С. 97–102.
2. *Грязькин А.В.* Значение метода и элементов методики при проведении геоботанических исследований / А.В. Грязькин // Изв. С.-Петербург. лесотехн. академии. СПб.: СПбГЛТА, 1999. Вып. 7 (165). С. 12–20.
3. *Ермолова Л.С.* Динамика травяного покрова в связи с лесоводственными процессами / Л.С. Ермолова. М.: Наука, 1981. 137 с.
4. *Иванов А.М.* Содействие естественному лесовозобновлению на сплошных вырубках / А.М. Иванов // Труды СПбНИИЛХ. СПб.: СПбНИИЛХ, 2004. Вып. 2 (12). С. 45–57.
5. *Мартынов А.Н.* Оценка успешности естественного возобновления ели / А.Н. Мартынов // Лесн. хоз-во, 1991. № 10. С. 21–23.
6. *Мартынов А.Н.* Рекомендации по комплексной оценке естественного лесовозобновления / А.Н. Мартынов. СПб.: СПбНИИЛХ, 1996. 18 с.
7. *Мельников Е.С.* Закономерности восстановительных процессов в лесных экосистемах на объектах хозяйственного воздействия / Е.С. Мельников, С.Н. Сеннов, А.В. Грязькин, А.Н. Мартынов, А.П. Смирнов // Изв. С.-Петербург. лесотехн. академии. СПб.: СПбГЛТА, 2003. Вып. 169. С. 191–205.
8. *Побединский А.В.* Рубки главного пользования / А.В. Побединский. М., 1990. 192 с.
9. *Тихонов А.С.* Лесоводственные основы различных способов рубки леса для возобновления ели / А.С. Тихонов. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1979. 246 с.
10. *Ткаченко М.Е.* Общее лесоводство / М.Е. Ткаченко. М.-Л.: Гослесбумиздат, 1952. 600 с.
11. *Ценопопуляция растений.* М.: Наука, 1976. 216 с.

Поступила 30.03.09

V.G. Sergiyenko, O.I. Sokolova
Saint-Petersburg Forestry Research Institute

Dynamics of ground vegetation cover and natural reforestation in the cut-over areas

Dynamics of ground vegetation cover at a parcel structure level has been studied. Natural reforestation of coniferous species and substitution of stands by the deciduous trees in clear-cut areas of whortleberry forest areas were considered.

Key words: cut-over land, phytocenosis, ground vegetation cover, parcel, natural reforestation, spruce, pine, birch.

УДК 630.56: 519.876: 502.3: 51

П.М. Мазуркин

Марийский государственный технический университет

Мазуркин Петр Матвеевич, родился в 1946 г., окончил в 1968 г. Марийский политехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой природообустройства Марийского государственного технического университета, заслуженный работник высшей школы, заслуженный деятель науки и техники Республики Марий Эл, академик РАЕ и РАЕН, член Европейской Академии Естествознания Республики Марий Эл, заслуженный деятель науки и образования. Автор 950 печатных работ в области экологической оценки территорий по свойствам деревьев и их популяций, а также долгосрочным результатам лесозаготовок, в том числе 215 авторских свидетельств и патентов.
E-mail: kaf_po@mail.ru



ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗНОВОЗРАСТНОГО СОСНЯКА ПО ДИАМЕТРУ СТВОЛОВ ДЛЯ РУБОК ПОКОЛЕНИЙ ДЕРЕВЬЕВ

На примере разновозрастного сосняка Сибири показана возможность отбора поколений старых сосен для выборочной рубки поколений деревьев. Приведены статистические модели изменения диаметра ствола в коре от возраста по множеству из 202 деревьев, образующих кластеры по поколениям и их группам. Обоснован для оценки выбора поколений критерий в виде коэффициента корреляции, изменяющегося в зависимости от численности оставляемых и удаляемых из древостоя поколений деревьев по биотехническим закономерностям с волновыми составляющими.

Ключевые слова: сосняк разновозрастный, отбор поколений, влияние численности и возраста, рубки старых деревьев.

Введение. Любой таксационный показатель y в зависимости от возраста A (лет) дерева изменяется по биотехническому закону [3–5]:

$$y = a_1 A^{a_2} \exp(-a_3 A^{a_4}), \quad (1)$$

где y – таксационный показатель дерева [1, 2];

A – возраст дерева в момент измерений, испытаний или рубки, лет;

a_1, \dots, a_4 – параметры биотехнической закономерности (1).

Пусть известны поколения деревьев в данном лесном древостое. Тогда **активность рубки деревьев** можно обосновать по критерию адекватности закономерности (1). Вместо возраста в статье используются также численности оставляемых на доращивание поколений молодых особей и удаляемых из сосняка поколений старых деревьев.

Цель статьи – показать возможности использования данных натуральных экспериментов прошлых лет для обоснования закономерностей роста в течение почти пяти веков разновозрастного сосняка, а также демонстрация особенностей применения измеренной пробной площади как условного тренажера для назначения поколений деревьев в рубку.

Методика и объект. Пусть известны возрасты A и, например, диаметры $D_{1,3}^k$ в коре на высоте 1,3 м ствола каждого дерева. Примем, что все деревья являются учетными или испытываемыми учетными деревьями. В последнем случае требуется извлекать радиальные керны древесины из стволов около корневых шеек. Со временем появятся неразрушающие методы измерений возраста и y учетных деревьев, например, ультразвуковым сканированием ствола около корневой шейки.

Тогда появляется возможность еще до проведения рубки, по результатам анализа биотехнических закономерностей типа $D_{1,3}^k = f(A)$ по формуле (1), а также показателя её адекватности по коэффициенту корреляции R , проводить осознанный отбор одного или нескольких старых поколений сосны для выполнения, например, постепенной рубки древостоя.

За объект исследования был принят разновозрастный сосняк из Сибири [1, 2] на пробной площади № 1963-4. В древостое находились 202 дерева, по которым был выполнен полный анализ ствола. Тщательные измерения и анализ каждого ствола, выполненные экспедицией П.М. Верхунова в 1963 году, позволили провести моделирование по данным прошлых экспериментов методом идентификации [6] устойчивых законов.

Сосны в разновозрастном сосняке на пробной площади № 1963-4 за 449 лет жизнедеятельности самой старой особи разделялись на пять поколений деревьев (табл. 1). При этом все 202 сосны пяти поколений функционально взаимосвязаны биотехнической закономерностью типа (1).

Т а б л и ц а 1

Параметры поколений сосны на пробной площади № 1963-4 по данным [1, 2]

Поколение	Параметры поколения сосны					Параметры модели (1)				R
	N, шт.	A _{max} , лет	A _{min} , лет	D _{1,3max} ^k , см	D _{1,3min} ^k , см	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	
I	7	449	404	66,4	42,4	6,80764e-66	28,82735	0,00493240	1,37555	0,2370
II	16	376	342	71,4	43,0	0,16566	1	0	1	0,2228
III	40	289	198	68,6	21,4	5,02162e-26	12,86645	0,00448050	1,37340	0,5551
IV	65	163	108	59,6	15,0	1,18640	0,72357	0,00010917	1,53826	0,1205
V	74	101	76	38,2	10,4	1,31384e-14	8,87748	0,00153570	1,78980	0,1554

В табл. 1 приняты следующие условные обозначения: N – численность лесных деревьев сосны; A_{max} – максимальный возраст самой старой сосны; A_{min} – минимальный возраст самой молодой в сообществе сосны; $D_{1,3max}^k$ – максимальный диаметр ствола с корой на высоте 1,3 м; $D_{1,3min}^k$ – минимальный диаметр ствола с корой; a_1, \dots, a_4 – параметры формулы (1); R – коэффициент корреляции модели типа (1).

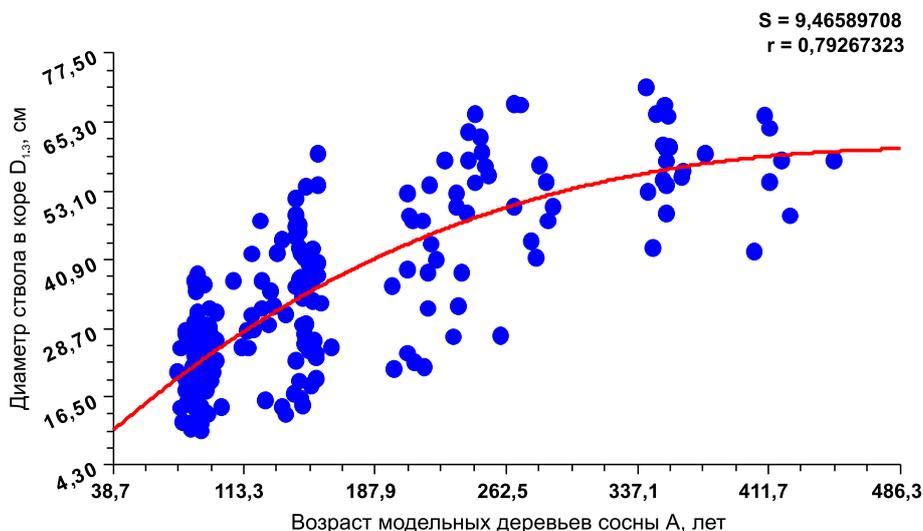


Рис. 1. Распределение 202 сосен и график биотехнической закономерности (2)

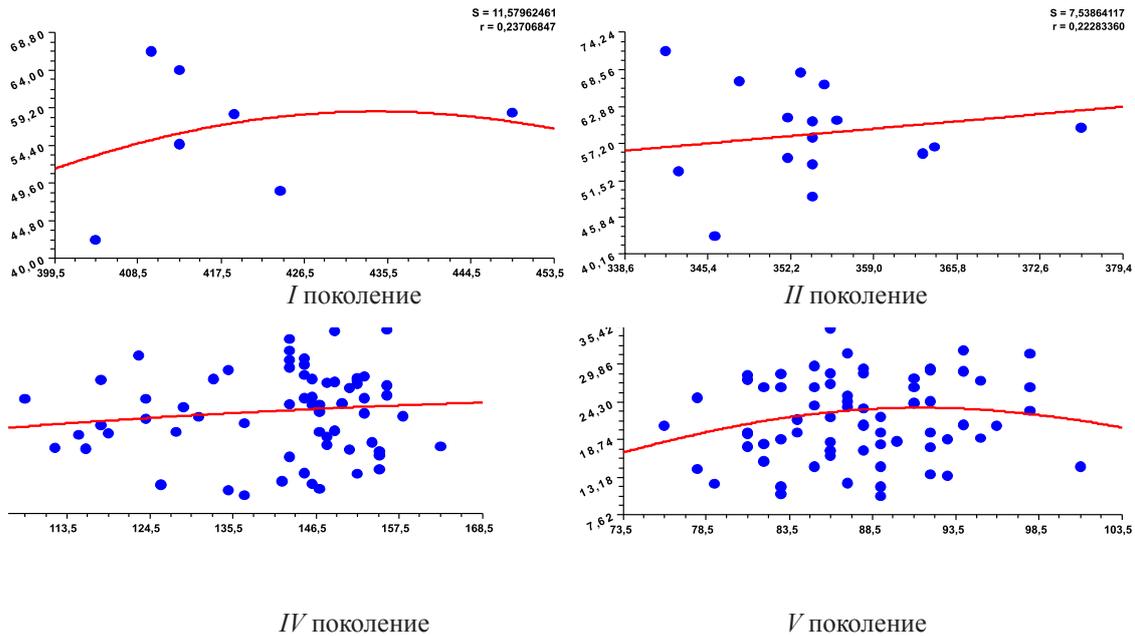


Рис. 2. Функционально слабо связанные поколения сосен на пробной площади 1963-4

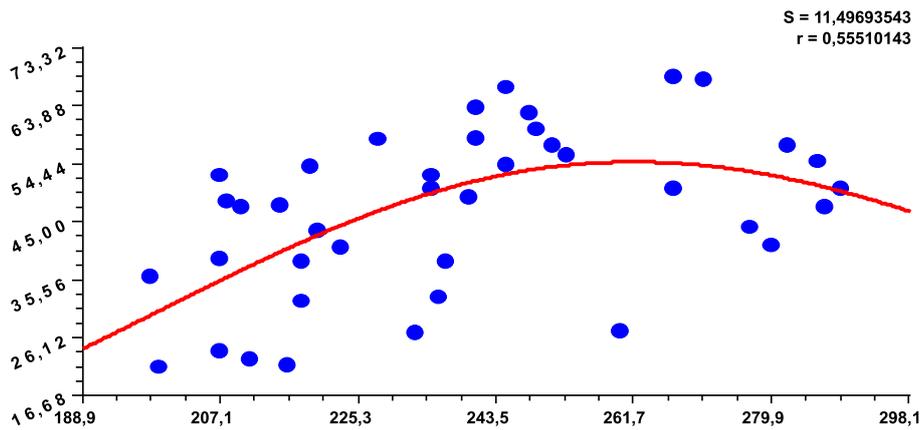


Рис. 3. Средняя связь между соснами III поколения по диаметру ствола в коре (здесь и далее абсцисса – возраст деревьев (лет), а ордината диаметр (см) в коре)

Результаты и обсуждение. На рис. 1 показан график изменения диаметра в коре $D_{1,3}^k$ в зависимости от возраста A по формуле

$$D_{1,3}^k = 0,24595 A^{1,05164} \exp(-0,0020573 A), \quad (2)$$

а на рис. 2 и рис. 3 приведены графики по всем пяти поколениям табл. 1.

В ходе проведения лесосечных и лесоскладских работ можно считать хлысты и сортименты по патенту [8] некрatными отрезками ствола. Поэтому анализ стволов [3] при заготовке сортиментов практически возможен.

Примем условно три интервала изменения коэффициента корреляции: $R \geq 0,7$ – сильная функциональная (биоэнергетическая) связь между деревьями в древостое, его биогруппе или куртине; $0,3 \leq R \leq 0,7$ – средняя теснота связи по значениям таксационного параметра между деревьями; $R \leq 0,3$ – слабая связь между отдельными деревьями и их поколениями.

Интересен тот факт, что все поколения сосен по рис. 1 имеют сильную связь между собой с коэффициентом корреляции 0,7927, а в отдельности поколения сосен получают слабую (рис. 2) и среднюю (рис. 3) связь.

Таким образом, вне зависимости от поколений, то есть естественной кластеризации биологических особей из-за действий низовых пожаров в сосняке, на пробной площади все 202 сосны имеют сильную биоэнергетическую связь, в частности, по биотехнической функции $D_{1,3}^k = f(A)$.

Извлекаемые и оставляемые деревья. С инженерно-экологических позиций выборочная и даже сплошная рубка является извлечением из леса таких удаляемых деревьев, которые по биотехническим закономерностям имеют слабые биоэнергетические связи между собой [7].

Для этого необходимо рассмотреть последовательные варианты сочетаний пяти поколений сосны. При этом вначале примем допущение, что все поколения деревьев равны по статистической значимости.

Но направленность процесса исключения (элиминирования) понятна из распределения точек на рис. 1.

Здесь четко видно, что молодые деревья имеют наибольшую скученность. А с возрастным поколением разброс между деревьями по толщине нарастает. Поэтому от пятого к третьему поколению, по мере увеличения возраста A , происходит разрежение, а затем к первому поколению эти разреженности постепенно уменьшаются по размерам. В итоге возрастную структуру разновозрастного сосняка можно представить в виде физической модели системы концентрических колец, где размеры и пространственные очертания деревьев изменяются.

В соответствии с таким представлением в табл. 2 приведены параметры удаляемых и оставляемых в сосняке поколений деревьев (рис. 4).

Т а б л и ц а 2

Отбор поколений сосны на пробной площади № 1963-4 для первого приема постепенных рубок лесных деревьев

Удаляемые из древостоя поколения деревьев для заготовки древесины						Оставляемые в лесном древостое поколения деревьев на доращивание					
Поколение	Параметры поколения сосен			Параметры модели (1)		Поколение	Параметры поколения сосен			Параметры модели (1)	
	$N_{уд}$ шт.	A_{max} лет	A_{min} лет	№	$R_{ост}$		$N_{уд}$ шт.	A_{max} лет	A_{min} лет	№	$R_{ост}$
–	0	–	–	–	0	I–V	202	449	76	(2)	0,7927
I	7	449	404	табл. 1	0,2370	II–V	195	376	76	(6)	0,7816
I–II	23	449	342	(3)	0,0375	III–V	179	289	76	(7)	0,7111
I–III	63	449	198	(4)	0,5850	IV–V	139	163	76	(8)	0,5547
I–IV	128	449	108	(5)	0,6691	V	74	101	76	табл. 1	0,1554

Исходное состояние сосняка определяется поколениями I–V и формулой (2) биотехнической связи между всеми соснами по рис. 1.

Удаляемые из древостоя поколения сосны. Пусть количество удаляемых в первый прием рубки поколений сосны возрастает и для таких сочетаний получены закономерности типа $D_{1,3}^k = f(A)$ срубаемых деревьев:

сосны I и II поколений (рис. 4)

$$D_{1,3}^k = 0,00024975 A^{2,34423} \exp(-0,00012095 A^{1,59338}); \quad (3)$$

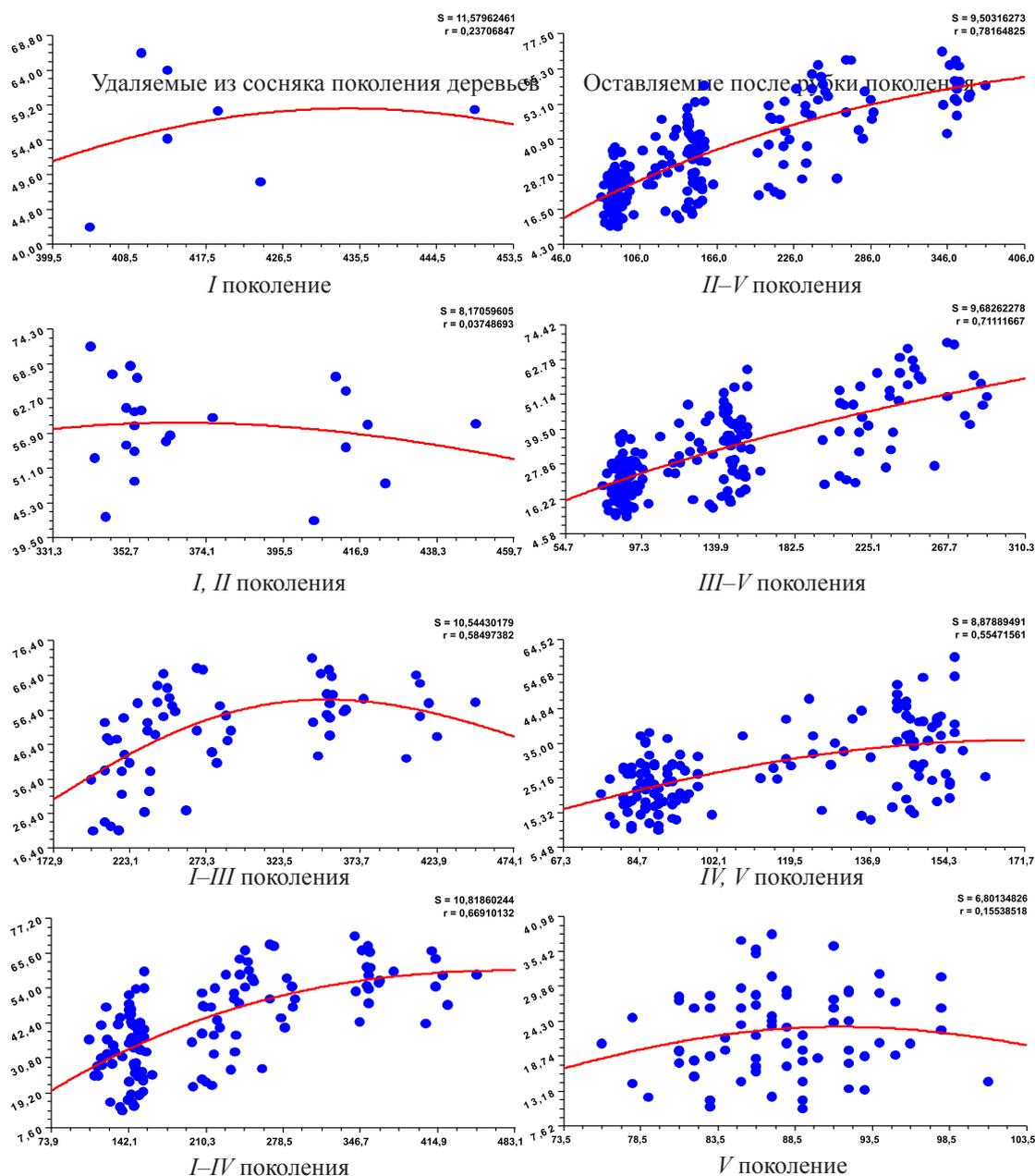


Рис. 4. Парные сопоставления двух частей сосняка по группам поколений сосен

сосны *I–III* поколений

$$D_{1,3}^K = 0,00026415 A^{2,35487} \exp(-0,00013198 A^{1,59092}); \quad (4)$$

сосны *I–IV* поколений

$$D_{1,3}^K = 0,40807 A^{0,91687} \exp(-0,00014869 A^{1,36300}). \quad (5)$$

Оставляемые после рубки деревья. Совокупности оставляемых на дальнейшее доразращивание молодых деревьев определяются моделями:

после рубок с удалением сосен *I* поколения оставшиеся 195 сосен *II–V* поколений получают закономерность вида (рис. 4)

$$D_{1,3}^K = 0,48887 A^{0,87375} \exp(-0,00024043 A^{1,23414}); \quad (6)$$

после удаления сосен *I, II* поколений оставшиеся 179 сосен *III–V* поколений получают закономерность вида

$$D_{1.3}^k = 0,63326A^{1,19394} \exp(-0,60664A^{0,23657}); \quad (7)$$

после удаления сосен I–III поколений оставшиеся 139 сосен IV, V поколений получают закономерность вида

$$D_{1.3}^k = 0,013956A^{1,74059} \exp(-0,00038785A^{1,54505}). \quad (8)$$

Изменение коэффициента корреляции. Из данных табл. 2 видно, что коэффициент корреляции R с увеличением ранга r варианта для групп оставляемых поколений убывает, причем по закону гибели с дополнительным кризисным спадом по показательному закону, по формуле

$$R_{ocm} = 0,79467 \exp(-7,52821 \cdot 10^{-5} r^{6,30890}) - 0,016903r^{2,16489}. \quad (9)$$

Таким образом, удаление отдельных деревьев и их групп в лесном девственном древостое всегда приводит к снижению биоэнергетических связей между членами популяции.

Это влияние на принятый критерий еще четче видно с учетом численности оставляемых сосен N_{ocm} по биотехническому закону

$$R_{ocm} = 2,87951 \cdot 10^{-7} N_{ocm}^{3,31307} \exp(-0,013506N_{ocm}^{1,00221}). \quad (10)$$

Формула (10) оказалась тенденцией (трендом), и после структурно-параметрической идентификации удалось с высокими значениями коэффициента корреляции (0,9177 и 1,0000) получить дополнительные составляющие (рис. 5) трехчленной биотехнической закономерности с двумя волновыми колебательными возмущениями оставляемых на дальнейший рост популяций сосен.

После параметрической идентификации получили закономерность

$$R_{ocm} = R_1 + R_2 + R_3, \quad (11)$$

$$R_1 = 2,88078 \cdot 10^{-7} N_{ocm}^{3,31319} \exp(-0,013501N_{ocm}^{1,00214});$$

$$R_2 = A_1 \cos(\pi N_{ocm} / P_1 - 0,26036);$$

$$A_1 = 1,65904 \cdot 10^{-7} N_{ocm}^{2,97978} \exp(-0,021005N_{ocm}^{1,01512});$$

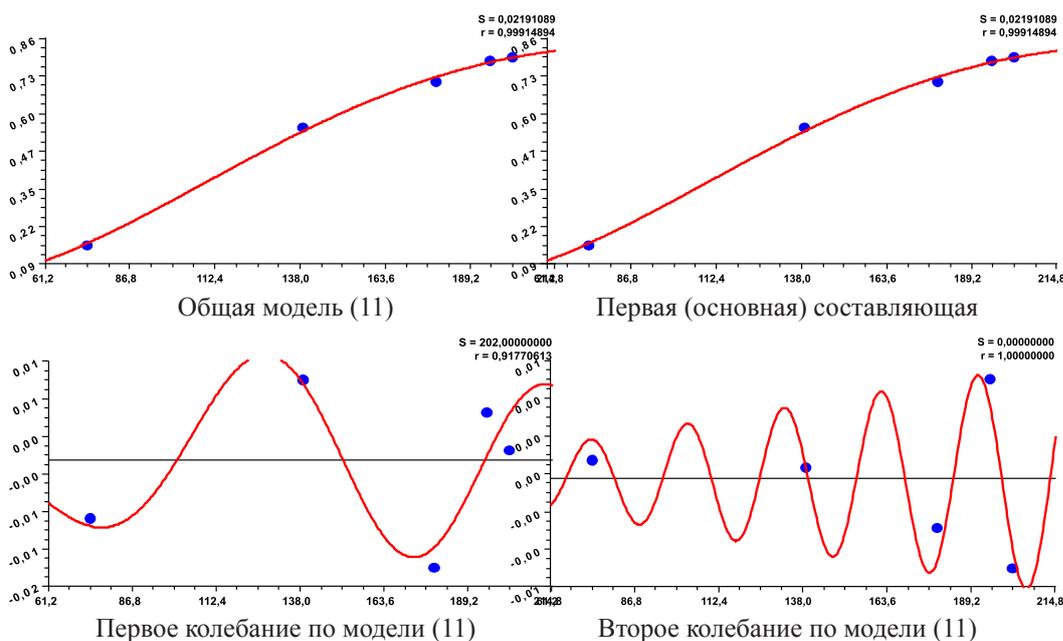


Рис. 5. Графики трехчленной модели (11) и её составляющих

$$P_1 = 73,32589 - 0,098725 N_{осм}^{1,00494}; R_3 = A_2 \cos(\pi N_{осм} / P_2 + 0,20895);$$

$$A_2 = -3,30795 \cdot 10^{-5} N_{осм}^{1,07217}; P_2 = 14,64639 - 0,00025498 N_{осм},$$

где A_1, A_2 – амплитуды (половины) колебательного возмущения сосен по критерию «коэффициент корреляции» адекватности закономерностей,

P_1, P_2 – половины периодов волнового возмущения по значениям коэффициента корреляции оставляемых на дорастивание сосен, шт.

Корреляционный коэффициент как критерий оценки биоэнергетических связей в древостое оказался весьма чувствительным показателем для определения численности оставляемых в древостое сосен.

Повышение активности рубки. Увеличение группы удаляемых сосен приводит к биотехнической трехчленной закономерности (рис. 6) вида

$$R_{y\partial} = R_1 + R_2 + R_3, \quad (12)$$

$$R_1 = 0,11898 N_{y\partial}^{2,16739} \exp(-0,50626 N_{y\partial});$$

$$R_2 = 1,21235 \cdot 10^{-7} N_{y\partial}^{4,41433} \exp(-0,046051 N_{y\partial}), R_3 = A \cos(\pi N_{y\partial} / P);$$

$$A = 0,00083418 N_{y\partial}^{1,08340} \exp(-0,054419 N_{y\partial}), P = 26,38433.$$

Наращивание множества удаляемых сосен приводит к двум максимумам. Первый образуется в интервале от нуля до 25 сосен, то есть охватывает два поколения старых сосен. Второй находится в интервале 95–100 шт. Нужно было в 1963 г. удалять только совокупность разновозрастных сосен в виде *I, II* поколений. Как видно из данных табл. 2, они мало связаны при общем коэффициенте корреляции всего 0,0375.

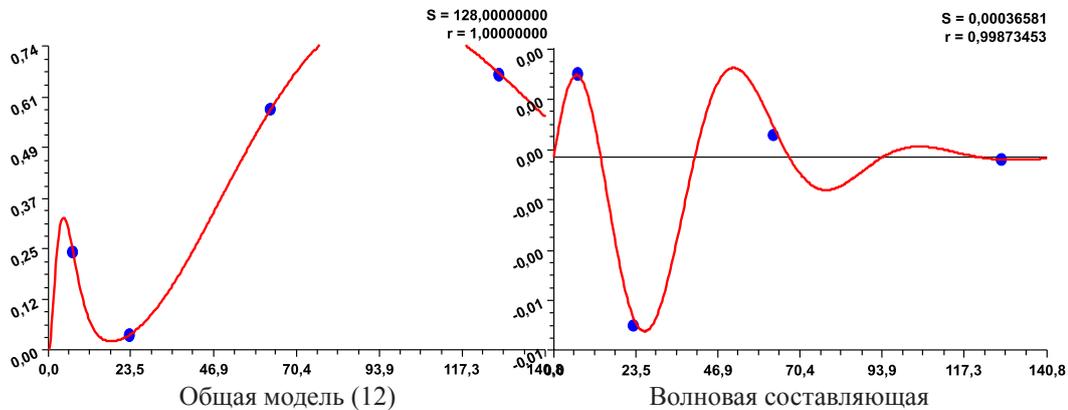


Рис. 6. Графики трехчленной модели (12) и её волновой составляющей

Поэтому деревья *III–V* поколений не нужно было удалять в 1963 г., а оставить их на дальнейшее развитие и рост, так как они определяли высокую связность в целом по разновозрастному сосняку.

Заключение. На пробной площади 1963-4 сосняка нужно было за модельные деревья принять старые сосны первого и второго поколений, то есть всего 23 сосны по данным табл. 2. Остальные 179 сосен третьего, четвертого и пятого возрастных поколений нужно было принять за учетные деревья, при необходимости отобрав из них испытуемые методом радиального ядра учетные деревья сосны.

Эффективность нового способа проявляется в том, что он позволяет анализировать модельные деревья, выбранные из старых деревьев, со стволами непра-

вильной стереометрической формы по образующей вдоль ствола. Причем кратность длин секций не имеет существенного значения при использовании метода математического описания всей боковой образующей (или её части с непрерывной кривизной) на основе упомянутого ранее биотехнического закона проф. П.М. Мазуркина.

Такое моделирование позволяет узнать о биотехнических закономерностях, например, у семенных деревьев долгожителей. Тем самым можно реконструировать прошлое поведение того древостоя, из которого несколько десятков лет назад были оставлены по правилам сплошных рубок семенные 20–25 деревьев на гектаре лесного земельного участка. В итоге по модельным деревьям, выбранным из семенников, удастся не только реконструировать прошлое поведение старых особей, но и сравнить их с выросшими из семян лесными деревьями этой же главной породы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Верхунов П.М.* Закономерности строения разновозрастных сосняков / П.М. Верхунов. Новосибирск: Наука, 1976. 255 с.
2. *Верхунов П.М.* Прирост запаса разновозрастных сосняков / П.М. Верхунов. Новосибирск: Наука, 1979. 254 с.
3. *Верхунов П.М.* Таксация древесного ствола лесных насаждений: учеб. пос. / П.М. Верхунов, П.М. Мазуркин. Йошкар-Ола: МарГТУ, 1999. 72 с.
4. *Мазуркин П.М.* Дендрометрия. Статистическое древоведение / П.М. Мазуркин. Учеб. пос. Часть 1. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2003. 308 с.
5. Там же. Часть 2. 205 с.
6. *Мазуркин П.М.* Математическое моделирование. Идентификация однофакторных статистических закономерностей: учеб. пос. / П.М. Мазуркин, А.С. Филонов. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2006. 292 с.
7. *Мазуркин П.М.* Экологическое равновесие древостоя / П.М. Мазуркин, Е.А. Степкина. М.: Изд-во «Академия Естествознания», 2009. 240 с.
8. Пат. 2201593 Российская Федерация, МПК⁷ G 01 N 33/46, A 01 G 23/00, A 01 G 23/02. Способ анализа древесного ствола / Верхунов П.М., Мазуркин П.М. (РФ); заявитель и патентообладатель Марийск. гос. тех. ун-т. № 2001116223/13; заявл. 13.06.01; опубл. 27.03.2003, Бюл. № 5.

Поступила 14.01.09

P.M. Mazurkin

Mari State Technical University

Partition law of tree diameters in multiple-aged pine stand for selective felling

Possibility of selection of aged pine trees generations for sample felling in Siberian multiple-aged pine stands is shown. Statistic models of stem diameter (including bark) fluctuation depending on trees age are developed. Correlation coefficient for biotechnical characteristics of breeds of trees is validated.

Key words: pine multiple-aged stand, generations sampling, number and age effect, old trees felling.

УДК 630*232.327

Н.А. Бабич, Е.Д. Гельфанд, В.И. Мелехов, Д.Н. Клевцов

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

Бабич Николай Алексеевич родился в 1947 г., окончил в 1971 г. Архангельский лесотехнический институт имени В.В. Куйбышева, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры ландшафтно-го строительства и искусственных лесов Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, заслуженный работник высшей школы РФ. Имеет более 240 научных работ, в том числе 45 книг.
E-mail: les@agtu.ru



Гельфанд Ефим Дмитриевич родился в 1936 г., окончил в 1959 г. Архангельский лесотехнический институт имени В.В. Куйбышева, доктор технических наук, профессор кафедры биотехнологии Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, заслуженный изобретатель РФ, заслуженный работник высшей школы, почетный работник высшего профессионального образования РФ, заслуженный деятель науки РАЕ. Имеет более 350 научных трудов, в том числе 150 изобретений. Специалист в области химической технологии древесины и биотехнологии.
Тел.: 8(8182) 21-61-45



Мелехов Владимир Иванович родился в 1939 г., окончил в 1961 г. Архангельский лесотехнический институт имени В.В. Куйбышева, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой древесины Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, действительный член РАЕН и Академии проблем качества РФ, председатель диссертационного совета. Имеет более 300 научных трудов в области технологии высококачественной сушки, пропитки древесины и использования малоценной древесины и отходов деревообработки на основе новых технологий.
Тел.: 8(8182) 21-61-49



Клевцов Денис Николаевич родился в 1981 г., окончил в 2004 г. Архангельский государственный технический университет, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры экологии и защиты леса Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет 15 научных работ по вопросам биологической продуктивности культур сосны обыкновенной Европейского Севера России.
E-mail: denis2749@yandex.ru



ВОЗРАСТНОЕ ИЗМЕНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЗЕМНОЙ ФИТОМАССЫ КУЛЬТУР СОСНЫ СЕВЕРНОЙ ПОДЗОНЫ ТАЙГИ

Приведены результаты исследования процессов формирования и структурирования запасов фитомассы надземной части древесного яруса культур сосны обыкновенной северной подзоны тайги Европейского Севера.

Ключевые слова: культуры сосны обыкновенной, фитомасса, фракции, северная подзона тайги, запас.

Роль лесов, как отмечает В.А. Усольцев [5], в глобальном углеродном балансе сегодня является экологической загадкой, суть которой состоит в противоречии между результатами прямых измерений и косвенных (модельных) расчётов потоков углерода. Автор исходит из того, что сегодня пока невозможна корректная оценка глобального углеродного бюджета и роли в нём лесного покрова, но это не означает, что исследования в этом направлении бесперспективны. Самой же актуальной и вполне осуществимой задачей является оценка фактических запасов фитомассы лесов, содержащих около 80% углерода всего растительного покрова планеты. Поэтому столь значима задача формирования банка данных о фитомассе лесов, под которым В.А. Усольцев [4] понимает комплекс исследований, обеспечи-

вающих создание многоцелевой системы информации о фитомассе лесов, упорядоченной в виде структурных сводок и эмпирических моделей для решения экологических и хозяйственных задач разного уровня.

Сосна является одной из основных пород при искусственном восстановлении лесов в Европейской России. Сведения о структуре и запасах фитомассы культур сосны обыкновенной необходимы для оценки ресурсов и разработки хозяйственных основ формирования продуктивных и устойчивых искусственных насаждений. В связи с этим особую важность приобретают знания и факты возможной биологической продуктивности искусственных дендроценозов.

Целью исследований явилось выявление возрастной динамики надземной фитомассы культур сосны обыкновенной, произрастающих в условиях северной подзоны тайги Европейского Севера.

В качестве объектов наблюдений подобраны культуры сосны обыкновенной с небольшой примесью берёзы в черничном типе условий местопроизрастания. Они не подвергались промежуточному пользованию и представляют собой нормальные, высокопроизводительные культурфитоценозы.

Полевой экспериментальный материал получен методом повторных пересчётов на пробных площадях. Обследование на них проводили с учётом методических рекомендаций В.В. Огиевского, А.А. Хирова [1]; Н.Н. Соколова [3]; А.Р. Родина, М.Д. Мерзленко [2]. По соседству с каждой из них брали 10–15 модельных деревьев из разных ступеней толщины с учётом их представленности. Деревья разделялись на следующие фракции фитомассы: сухие сучья, живые ветви, древесная зелень (охвоённые побеги с диаметром у основания не более 8 мм), кора ствола, древесина ствола. Масса фракций отдельно по каждой модели определялась на платформенных весах с точностью до 50 г.

Анализируя полученные данные (табл. 1), можно отметить, что в исследованном возрастном периоде запасы надземной фитомассы по всем фракциям увели-

Таблица 1

**Возрастное изменение таксационных показателей
и надземной фитомассы посевов сосны**

Номер пробной площади	Возраст, лет	Средние		Состав	Густота, шт./га	Полнота	Запас, м ³ /га			Фракции фитомассы, т/га					
		D, см	H, м				по сосне	по берёзе	итого	Ствол		Крона		Сухие сучья	Итого
										Древесина	Кора	Ветви	Древесная зелень		
25	30	5,4	6,3	9С1Б+Ос	8471	0,90	52	–	52	$\frac{30,2}{46,6}$	$\frac{7,5}{11,6}$	$\frac{9,5}{14,7}$	$\frac{14,2}{21,9}$	$\frac{3,4}{5,2}$	$\frac{64,8}{100}$
	50	8,6	10,5	9С1Б+Ос	3585	1,10	105	11	116	$\frac{68,9}{52,8}$	$\frac{9,3}{7,1}$	$\frac{16,8}{12,9}$	$\frac{24,5}{18,8}$	$\frac{11,0}{8,4}$	$\frac{130,5}{100}$
25А	50	10,3	13,0	8С2Б+Ос	4004	0,98	92	14	106	$\frac{61,8}{52,5}$	$\frac{8,1}{6,8}$	$\frac{15,7}{13,3}$	$\frac{22,2}{18,8}$	$\frac{10,1}{8,6}$	$\frac{117,9}{100}$
Сред- нее	30	5,4	6,3	–	–	–	–	–	52	$\frac{30,2}{46,6}$	$\frac{7,5}{11,6}$	$\frac{9,5}{14,7}$	$\frac{14,2}{21,9}$	$\frac{3,4}{5,2}$	$\frac{64,8}{100}$
	50	9,5	11,8	–	–	–	–	–	114	$\frac{65,4}{52,7}$	$\frac{8,7}{7,0}$	$\frac{16,3}{13,1}$	$\frac{23,3}{18,8}$	$\frac{10,5}{8,4}$	$\frac{124,2}{100}$

Примечание. В числителе – масса фракций в свежесрубленном состоянии, т/га; в знаменателе – процентное выражение от общей надземной массы.

чиваются. Наиболее показательным элементом продуктивности древостоев является масса стволовой древесины. С возрастом доля этой фракции в общей надземной фитомассе увеличивается как в относительных, так и в абсолютных величинах. В процентном выражении масса стволовой древесины в надземной фитомассе исследованных культур возрастает с 46,6 до 52,7%. Для таких фракций фитомассы как кора ствола и крона (в целом) характерна обратная зависимость. С возрастом доля их в общей массе древесного яруса уменьшается. Фракция сухих сучьев в исследованном возрастном интервале накапливает массу, при этом происходит увеличение доли этой фракции в общей надземной фитомассе древостоя.

На основании проведённых исследований и обобщения специальной литературы по данной теме можно заключить, что стволовая древесина аккумулирует основную часть надземной фитомассы древесного яруса. С возрастом процентное содержание стволовой древесины в общей надземной фитомассе древостоев увеличивается, а доля коры и фракций кроны, наоборот, уменьшается.

Результаты исследований могут быть использованы при осуществлении лесного мониторинга и экологических программ, при создании Всероссийской базы данных о фитомассе лесов, а также применены в лесном ресурсоведении. Полученные данные целесообразно использовать при расчётах углеродного бюджета лесных экосистем и при составлении энергетического баланса лесных сообществ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Огиевский В.В. Обследование и исследование лесных культур / В.В. Огиевский, А.А. Хиров. Л.: ЛТА, 1967. 50 с.
2. Родин А.Р. Методические рекомендации по изучению лесных культур старших возрастов / А.Р. Родин, М.Д. Мерзленко. М.: ВАСХНИЛ, 1983. 36 с.
3. Соколов Н.Н. Методические указания к дипломному проектированию по таксации пробных площадей / Н.Н. Соколов. Архангельск: РИО АЛТИ, 1978. 44 с.
4. Усольцев В.А. Формирование банков данных о фитомассе лесов / В.А. Усольцев. Екатеринбург: УрО РАН, 1998. 541 с.
5. Усольцев В.А. Фитомасса лесов Северной Евразии: база данных и география / В.А. Усольцев. Екатеринбург: УрО РАН, 2001. 707 с.

Поступила 17.02.11

N.A. Babich, E.D. Gelfand, V.I. Melekhov, D.N. Klevtsov

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

Age variability of superterranean phytomass indices of the homogeneous Scots pine stands in the Northern boreal subzone

The paper presents results of research regarding processes of formation and structurization of phytomass reserves on superterranean tree level of the artificial stands of Scotch pine (*Pinus sylvestris*) in the European northern boreal subzone.

Key words: scotch pine (*Pinus sylvestris*) artificial stands, phytomass, fractions, northern boreal subzone, growing stock.

УДК 630*(470.11)

**Н.В. Овсянникова¹, П.А. Феклистов¹, В.В. Худяков¹, С.В. Третьяков¹,
М.Д. Мерзленко², Е.Д. Гельфанд¹**

¹ Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

² Московский государственный университет леса

Овсянникова Наталья Валентиновна родилась в 1988 г., окончила в 2005 г. Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, аспирант кафедры экологии защиты леса Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова.
E-mail: aspirant.10@mail.ru



Феклистов Павел Александрович родился в 1950 г., окончил в 1972 г. Архангельский лесотехнический институт имени В.В. Куйбышева, доктор сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой экологии и защиты леса, профессор. Имеет около 210 печатных работ в области лесной экологии.
E-mail: feklitov@agtu.ru



Худяков Виктор Васильевич родился в 1950 г., окончил в 1977 г. Архангельский лесотехнический институт имени В.В. Куйбышева, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры экологии и защиты леса Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет около 50 печатных работ в области лесоведения и лесной экологии.
E-mail: v.hudyakov@agtu.ru



Третьяков Сергей Васильевич родился в 1956 г., окончил в 1978 г. Архангельский лесотехнический институт им. В.В. Куйбышева, доктор сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесной таксации и лесоустройства, заведующий кафедрой лесной таксации и лесоустройства Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет около 92 печатных работы, за последние 5 лет (в период 2006–2011 гг.) в области лесопользования, лесопользования и лесной сертификации.
E-mail: svt@atknnet.ru



Мерзленко Михаил Дмитриевич родился в 1946 г., окончил в 1969 г. Московский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесных культур Московского государственного университета леса, член-корреспондент Международной Славянской академии. Имеет около 360 научных работ в области искусственного лесовосстановления, лесоводства, истории лесной науки, среди них 13 монографий и 32 учебных пособия.
E-mail: merzlenko@mgu.ac.ru



ВЛАЖНОСТЬ ДРЕВЕСИНЫ ДЕРЕВЬЕВ ЕЛИ В ЧЕРНИЧНОМ ТИПЕ ЛЕСА

Статья посвящена изучению влажности древесины ели в северной подзоне тайги. Приведены данные о влиянии возраста дерева на влажность заболонной древесины и ядра. А также рассмотрено влияние категории санитарного состояния деревьев ели обыкновенной на влажность древесины.

Ключевые слова: влажность древесины, ель обыкновенная (*Picea Abies*), заболонь, ядро, категория состояния деревьев.

Вода играет первостепенную роль в жизнедеятельности дерева. Часть усвоенной воды разлагается и служит для создания целлюлозы, древесины, белков и т.д.

© Овсянникова Н.В., Феклистов П.А., Худяков В.В., Третьяков С.В., Мерзленко М.Д., Гельфанд Е.Д., 2012

Большая часть воспринятой воды остается в проводящих путях как средство для растворения ассимилянтов в живых клетках или как камбиальная вода в клеточных стенках. Ствол дерева играет роль водного резервуара, в котором запасы воды пополняются из почвы корневым давлением и передвигаются вверх сосанием кроны, вызываемым транспирацией [3].

Целью исследования было изучить влажность древесины в естественных еловых насаждениях и влияние на показатели влажности категории состояния и возраста насаждений.

Исследования были проведены в ельниках черничных на территории Приморского района Архангельской области (северная подзона тайги).

Объектами исследования служила ель обыкновенная (*Picea abies* Karst.). На десяти пробных площадях были проведены исследования влажности древесины на учетных деревьях. На каждой пробной площади у 15 учетных деревьев ели (всего изучено 150 деревьев) брали керны и определяли влажность древесины при использовании торзионных весов типа ВТ-500 с последующей сушкой в сушильном шкафу при температуре 105°C. Далее по формуле 1 производился расчет относительной влажности древесины. Керны отбирались у шейки корня, предварительно определялся возраст дерева. Определяли влажность заболони и ядра, их средние показатели, а также среднее значение влажности каждого керна.

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_1} 100\%, \quad (1)$$

где m_1 – начальная масса образца, г;

m_2 – масса образца в абсолютно сухом состоянии, г.

Для исследования влажности древесины отбирали деревья разного жизненного состояния. Состояние деревьев определяли по шкале санитарного состояния [7].

Все исследуемые насаждения относятся к IV классу бонитета (табл. 1), которые имеют примесь березы, сосны. Возраст ельников находится в пределах 64–110 лет.

Движение воды из корней к кроне происходит в древесине, а не в коре. Причем передвижение воды вверх по стволу происходит не по всему стволу, а только по внешним годичным слоям заболони [5, 9].

В результате биохимических и структурных изменений в древесине, в ядре практически не остается живых клеток, ядро отличается низким влагосодержанием, в то время как древесина заболони обычно характеризуется высоким влагосодержанием [8].

Анализ изменения влажности в стволах растущих деревьев ели показывает существенные различия показателей заболони и ядра (рис. 1). Средняя влажность заболони всех учетных деревьев составляет 83,4%, средняя влажность ядра – 40,6%. Влажность заболонной древесины выше влажности ядра примерно в 2,0–2,5 раза.

При оценке влажности древесины относительно категории состояния (жизнеспособности) деревьев было выявлено снижение влажности с ухудшением состояния дерева (табл. 2). Наибольшие показатели влажности наблюдаются у абсолютно здоровых деревьев без признаков ослабления (65,6%), наименьшие же показатели влажности у сильно ослабленных деревьев (60,4%). Полученные данные близки к литературным [6], но выше, чем в Германии, примерно на 10% [1].

Влажность древесины заболони ядра выше у деревьев без признаков ослабления и составляет в среднем 86,3 и 43,0%, соответственно.

Согласно Л.Н. Исаевой [4], для всех пород влажность гнилой древесины выше влажности здоровой в 2–3 раза. Следует отметить, что у наших учетных деревьев

Т а б л и ц а 1

Таксационная характеристика пробных площадей

№ п/п	Тип леса	Состав	Порода	Среднее значение		Возраст, лет	Сумма площадей сечения, м ² /га	Относительная полнота	Запас, м ³ /га	Класс бонитета
				D, см	H, м					
1	Ельник черничный	7Е2С1Б	Е	17,80	17,60	110	21,20	0,75	187,00	IV
			С	19,60	17,40	–	7,70	0,22	–	
			Б	14,50	14,10	–	2,10	0,08	–	
2	Ельник черничный	8Е1С1Б	Е	19,50	19,20	110	18,80	0,80	235,00	IV
			С	20,10	18,30	–	1,70	0,07	–	
			Б	13,60	14,20	–	1,80	0,10	–	
3	Ельник черничный	10ЕедБ	Е	12,90	17,30	102	24,80	0,88	220,00	IV
			Б	14,30	15,20	–	1,20	0,06	–	
4	Ельник черничный	10ЕедБ	Е	13,10	17,70	91	23,90	0,92	230,00	IV
			Б	14,00	15,10	–	1,00	0,05	–	
5	Ельник черничный	10Е	Е	12,40	13,80	64	24,80	0,86	162,00	IV
6	Ельник черничный	10Е	Е	20,10	14,90	89	21,50	0,68	142,00	IV
7	Ельник черничный	10Е	Е	19,70	15,80	103	25,80	0,83	190,00	IV
8	Ельник черничный	10Е	Е	25,30	17,50	104	23,60	0,78	207,00	IV
9	Ельник черничный	10Е	Е	24,40	17,70	95	22,80	0,71	193,00	IV
10	Ельник черничный	10Е	Е	21,70	15,60	103	22,30	0,70	160,00	IV

Т а б л и ц а 2

Средние показатели влажности древесины деревьев ели разного жизненного состояния, %

Влажность заболони	Влажность ядра	Средняя влажность древесины
	Деревья без признаков ослабления	
86,3	43,0	65,6
	Ослабленные деревья	
82,5	41,3	62,7
	Сильно ослабленные деревья	
79,9	39,9	60,4

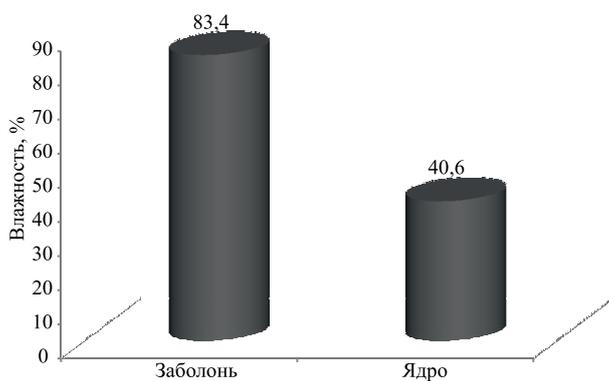


Рис. 1. Соотношение влажности древесины деревьев ели

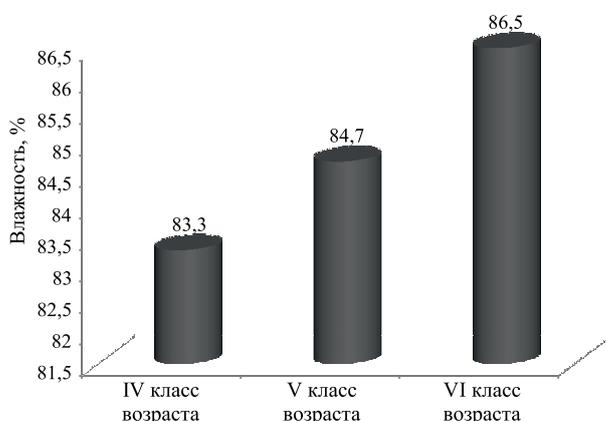


Рис. 2. Изменение влажности заболони ели в зависимости от возраста ели

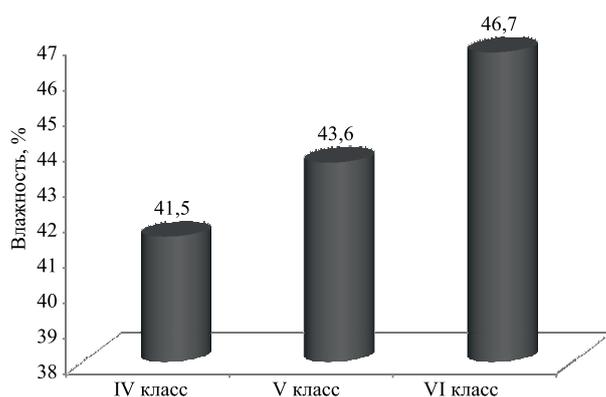


Рис. 3. Изменение влажности ядра в зависимости от возраста ели

не было признаков поражения грибными болезнями.

Влажность древесины весьма изменчива и зависит от ряда факторов: условий и места произрастания, физиологического состояния дерева, а также от его возраста [8].

М.Д. Даниловым [2] было установлено, что средняя влажность древесины с возрастом дерева изменяется существенно: влажность древесины ели увеличивается до 40-летнего возраста, затем до 80-летнего возраста уменьшается и далее до 120-летнего возраста сохраняется приблизительно на постоянном уровне. Однако на наших учетных деревьях влажность заболони с увеличением возраста увеличивается (рис. 2). В среднем влажность заболони IV класса возраста составляет 83,3%, V – 84,7% и VI – 86,5%.

Влажность ядровой (спелой) древесины (рис. 3), как и древесины заболони, увеличивается с возрастом. В среднем влажность заболони IV класса возраста составляет 41,5%, V – 43,6% и VI – 46,7%.

Выводы:

- Влажность заболони примерно в 2,0–2,5 раза больше влажности ядра.
 - Наибольшие показатели влажности наблюдаются у абсолютно здоровых деревьев без признаков ослабления (66%), наименьшие показатели влажности у сильно ослабленных деревьев (60%).
- Влажность древесины изменяется в зависимости от возраста дерева.
 - С увеличением возраста влажность заболони и ядра увеличивается.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бюсген М. Жизнь и строение наших лесных деревьев / пер. с нем. М.-Л.: Гослесбумиздат, 1961. 424 с.

2. Данилов М.Д. К характеристике динамики влажности древесины растущих деревьев с возрастом // Свойства древесины, ее защита и древесные материалы. Красноярск, 1968. С. 14–18.
3. Иванов Л.А. Свет и влага в жизни наших древесных пород. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1946. 60 с.
4. Исаева Л.Н. Влажность и плотность древесины основных лесобразующих пород Сибири: автореф. дисс. канд. с.-х. наук. Красноярск, 1970. 30 с.
5. Лир Х., Польстер Г., Фидлер Г. Физиология древесных растений / пер. с нем. М.: Лесн. пром-сть, 1974. 424 с.
6. Перельгин Л.М. Древесиноведение. М.: Гослесбумиздат, 1949. 316 с.
7. Санитарные правила в лесах РФ: Приказ МПР России от 27.12.2005 № 350.
8. Тарасенко Е.В. Оценка информативности основных физико-химических параметров качества древесины *Picea abies* (L.) Karst. и *Abies sibirica* Ledeb, елово-пихтовых лесов Республики Марий Эл: дисс. ... канд. биол. наук. Йошкар-Ола, 2001. 164 с.
9. Чудинов Б.С. Вода в древесине. Новосибирск, 1984. 270 с.

Поступила 17.02.11.

N.V. Ovsyannikova¹, P.A. Feklistov¹, V.V. Hudyakov¹, S.V. Tretyakov¹, M.D. Merzlenko², E.D. Gelfand¹

¹ Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

² Moscow State Forestry University

Moisture of wood in the Spruce trees at a whortleberry type forest

This article deals with moisture of Spruce wood at Northern sub-boreal zone. Data regarding relation between age of a tree and moisture content in a sapwood and a core are presented. An coherence between sanitary category of a wood stand of Spruce (*Picea Abies*) and wood moisture is described.

Key words: moisture of wood, spruce (*Picea Abies*), sapwood, core, category of a wood stand condition.

УДК 630*165.6 + 630*232.311.3

В.П. Бессчетнов, Н.Н. Бессчетнова

Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия

Бессчетнов Владимир Петрович родился в 1952 г., окончил в 1975 г. Казахский ордена Трудового Красного Знамени сельскохозяйственный институт, доктор биологических наук, профессор, декан факультета лесного хозяйства Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии. Имеет более 130 печатных работ в области изучения лесных культур, селекции и интродукции древесных и кустарниковых видов, проблем эффективности лесной селекции и совершенствования селекционного потенциала природных популяций и плюсовых деревьев основных лесообразующих пород.
E-mail: lesfak@bk.ru



Бессчетнова Наталья Николаевна кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесных культур Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии. Имеет 49 печатных работ в области проблем эффективности лесной селекции и совершенствования селекционного потенциала плюсовых деревьев основных лесообразующих пород, селекции сосны обыкновенной.
E-mail: besschetnova1966@mail.ru



СЕЛЕКЦИОННАЯ ОЦЕНКА ПЛЮСОВЫХ ДЕРЕВЬЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ МЕТОДАМИ МНОГОМЕРНОГО АНАЛИЗА

Получена комплексная сравнительная оценка плюсовых деревьев сосны обыкновенной по содержанию запасных веществ в тканях годичных побегов. Факторным и кластерным анализами установлена степень сходства ассортиментного состава лесосеменных плантаций и архивов клонов, созданных в Нижегородской области.

Ключевые слова: сосна обыкновенная (*Pinus Sylvestris*), плюсовые деревья, запасные вещества, евклидова дистанция, дендрограмма.

Актуальность формирования лесосеменной базы на селекционно-генетической основе [3, 5, 13, 14] усиливается в свете наметившихся тенденций перехода к интенсивным формам ведения лесного хозяйства. Лесосеменные плантации (ЛСП), созданные вегетативным потомством плюсовых деревьев основных лесообразующих пород, призваны выступить преимущественным источником семян [3, 4, 15]. Вместе с тем эффективность отбора по фенотипу, целесообразность его продолжения в традиционной форме, перспективность совершенствования схем реализации выступают предметом достаточно продолжительной дискуссии. Во многом такая ситуация вызвана недостаточным объемом объективной информации о многочисленных характеристиках плюсовых деревьев, что признается одной из проблем современной лесной селекции и определяет необходимость их активного и всестороннего изучения [5, 9, 10, 11, 13, 14, 15].

Цель работы состояла в получении многомерных сравнительных оценок плюсовых деревьев сосны обыкновенной по комплексу показателей содержания запасных веществ в тканях побегов для определения степени их статистической и генотипической близости. Предметом исследований являлось наследственно обусловленное сходство плюсовых деревьев сосны обыкновенной по структуре содержания запасных веществ в тканях побегов. Объектом исследования служили плюсовые деревья сосны обыкновенной, вегетативное потомство которых сосредоточено в архивах клонов № 1 и № 4 и использовано в ассортименте ЛСП № 24 государственного бюджетного учреждения Нижегородской области «Семеновский спецсемлесхоз».

© Бессчетнов В.П., Бессчетнова Н.Н., 2012

Первичная единица выборки в опыте представлена временными препаратами поперечных срезов из средней части годичного прироста, которые после окрашивания и фиксации анализировались с помощью микроскопа Микмед-2. Наличие крахмала, жиров и сахаров оценивалось дифференцировано по учетным зонам каждой из тканей, привлеченных для анализа. В качестве контроля визирования использовались неокрашенные срезы. Сроки взятия проб приурочены к характерным фенологическим состояниям растений: период покоя (первый срок учета), выход из состояния покоя (второй срок учета), начало образования поздней ксилемы (третий срок учета), переход в состояние покоя (четвертый срок учета). Крахмал выявляли цветной реакцией на раствор Люголя, водорастворимые сахара обнаруживали реакцией Молиша с α -нафтолом, жиры фиксировались реакцией на Судан-III [2, 12]. Их содержание оценивали в условных баллах по предложенной нами шкале [1].

В единый многомерный комплекс включались показатели содержания запасных веществ в разные сроки наблюдений. Обеспечивалось наличие одинакового набора анализируемых признаков у каждого из объектов многомерного комплекса сравнения: не имеющие хотя бы одной из характеристик исключались [6, 7, 8]. Весовые коэффициенты переменных не вводились, исходя из представлений об идентификационной равноценности признаков. Поправки на неравномерность комплексов не применялись в силу одинаковой численности первоначальных значений каждого параметра у всех многомерных объектов. Нами учитывалось то, что результаты группировки в кластеры в значительной степени зависят от метода агломерации и от того, какие признаки и в каком количестве привлечены. При этом исходное число анализируемых параметров может быть достаточно большим при слабой корреляционной зависимости между ними [6, 7, 8]. Решение задачи редукции числа переменных методом главных компонент выполнено в ходе факторного анализа [7] с применением программного комплекса STATISTICA v. 6.0. В результате признаки, корреляции между которыми выражены в наибольшей степени, объединялись в один комплексный фактор. Между сформированными факторами корреляция мала. В реализованной схеме эффективность независимых факторов определялась превышением их начальных собственных значений 1. Доля общей дисперсии, обусловленная их действием, была 94,69%, что выше критического 70-процентного порога [7]. Для нахождения однозначного решения применен метод ортогонального вращения (метод варимакса), в расчетах были использованы стандартизированные значения исходных признаков [7].

Сформированные в процессе факторного преобразования комплексные независимые переменные образовали собственный блок многомерных характеристик сравниваемых объектов. Так весь набор исходных анализируемых признаков, насчитывающий 44 показателя, был представлен блоком, содержащим только 10 главных компонент – параметров, представленных нормированными величинами. Они послужили основой проведения кластерного анализа и построения дендрограмм [6, 7, 8]. Процедура кластеризации представлена в табл. 1.

Материалы таблицы 1 отражают последовательность этапов объединения плюсовых деревьев в кластеры, соответствующую этому величину евклидовой дистанции и адекватное ей значение расстояния, выраженное (преобразованное) в масштабных единицах 25-разрядной шкалы, принятой для графического представления дендрограмм.

Дендрограммы, построенные по сформированным в процессе факторного анализа главным компонентам (рис. 1), принципиально не отличались от анало-

**Схема осуществления кластеризации 36 плюсовых деревьев
по оценкам содержания запасных веществ (10 главных компонент)
с использованием квадрата евклидова расстояния**

Этап	Шаги агломерации		Коэффициенты		Этап появления кластера		
	Объединение		Дистан- ция	Мас- штаб	Первого		Следу- ющего
	Кластер 1	Кластер 2			Кластер 1	Кластер 2	
1	5	6	3,559	2,900	0	0	11
2	29	30	4,503	3,600	0	0	10
3	2	14	5,570	4,500	0	0	9
4	13	32	5,793	4,600	0	0	14
5	4	7	5,886	4,700	0	0	22
6	12	33	6,161	4,900	0	0	8
7	1	22	7,225	5,800	0	0	13
8	9	12	7,501	6,000	0	6	14
9	2	35	7,696	6,200	3	0	15
10	27	29	7,758	6,200	0	2	16
11	5	24	7,779	6,200	1	0	20
12	16	28	9,410	7,500	0	0	19
13	1	19	9,894	7,900	7	0	20
14	9	13	10,020	8,000	8	4	23
15	2	23	10,417	8,400	9	0	16
16	2	27	10,940	8,800	15	10	24
17	18	34	11,292	9,100	0	0	23
18	8	20	11,758	9,400	0	0	25
19	16	21	11,896	9,500	12	0	25
20	1	5	12,739	10,200	13	11	26
21	31	36	13,553	10,900	0	0	28
22	4	17	14,512	11,600	5	0	27
23	9	18	14,702	11,800	14	17	24
24	2	9	15,844	12,700	16	23	26
25	8	16	16,300	13,100	18	19	29
26	1	2	16,700	13,400	20	24	28
27	4	25	17,431	14,000	22	0	30
28	1	31	17,782	14,300	26	21	29
29	1	8	18,775	15,100	28	25	30
30	1	4	21,065	16,900	29	27	31
31	1	11	24,608	19,700	30	0	32
32	1	10	24,782	19,900	31	0	33
33	1	3	27,276	21,900	32	0	34
34	1	15	28,513	22,900	33	0	35
35	1	26	31,164	25,000	34	0	0

гичных графических фигур, полученных на основе полного набора нормированных исходных признаков (рис. 2).

В значительной мере близки по своей структуре были и дендрограммы, полученные как на основе вычисления линейного евклидова расстояния, так и квадрата евклидова расстояния. Обнаруживаемые между ними различия невелики и не принципиальны.

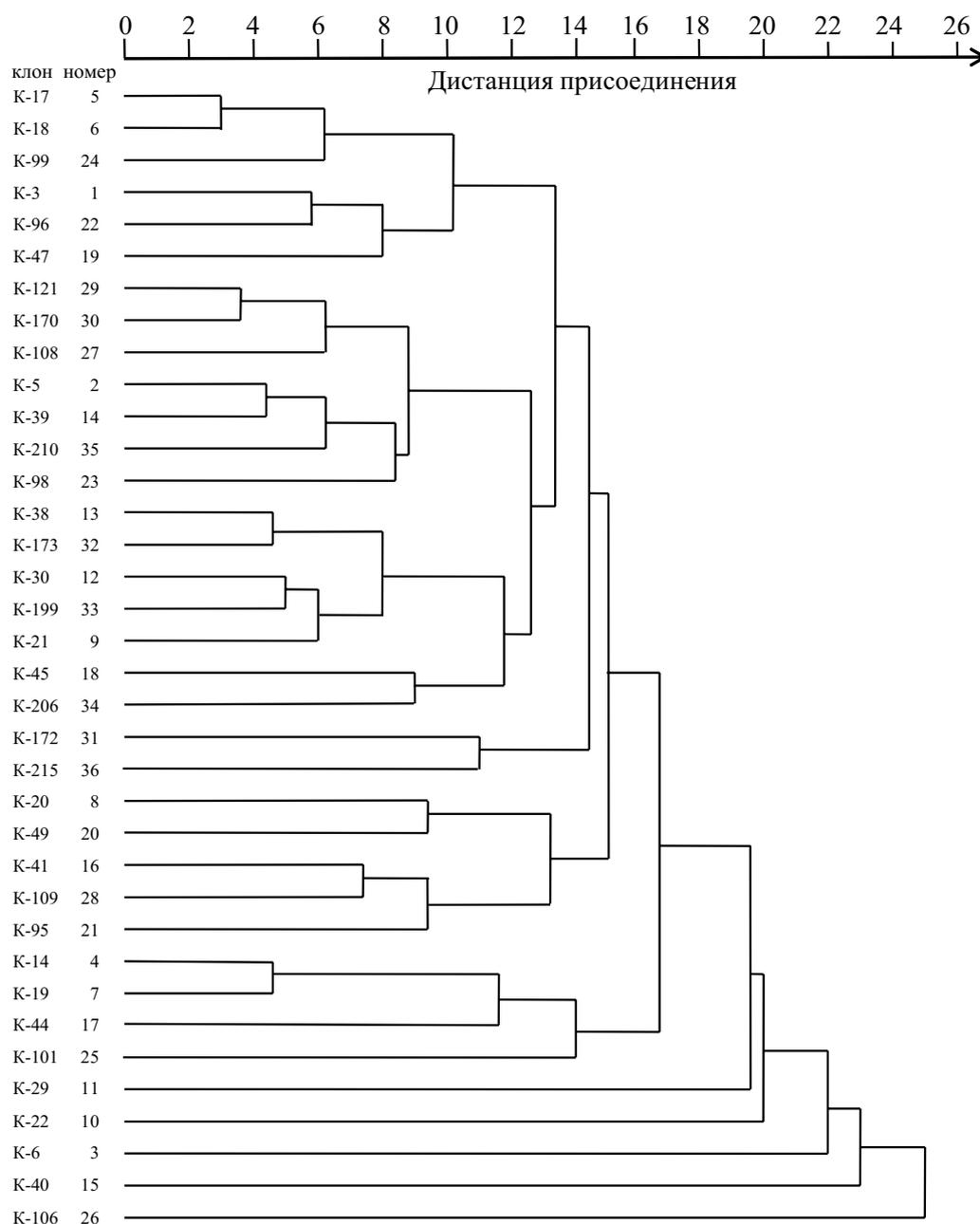


Рис. 1. Дендрограмма сходства ассортимента плюсовых деревьев в составе ЛСП № 24 по оценкам содержания запасных веществ (10 главных компонент): агломерация по квадрату евклидова расстояния

В дендрограмме, построенной по результатам преобразования в ходе факторного анализа 44 исходных независимых переменных в 10 главных компонент (см. рис. 1), удастся заметить ряд хорошо оформленных группировок – кластеров. В верхней части расположен достаточно крупный макрокластер, содержащий в своем составе 20 из 36 анализируемых плюсовых деревьев. Уровень его окончательного оформления составляет 13,4 масштабных единицы. В него входят 4 хорошо очерченных разновеликих микрокластера, плотность агломерации в каждом из которых близка к 10 масштабным единицам. К первому отнесены 6 объектов (К-17, К-18, К-99, К-3, К-96, К-47) с начальным и конечным порогами примыкания 2,9 и 10,2 единицы соот-

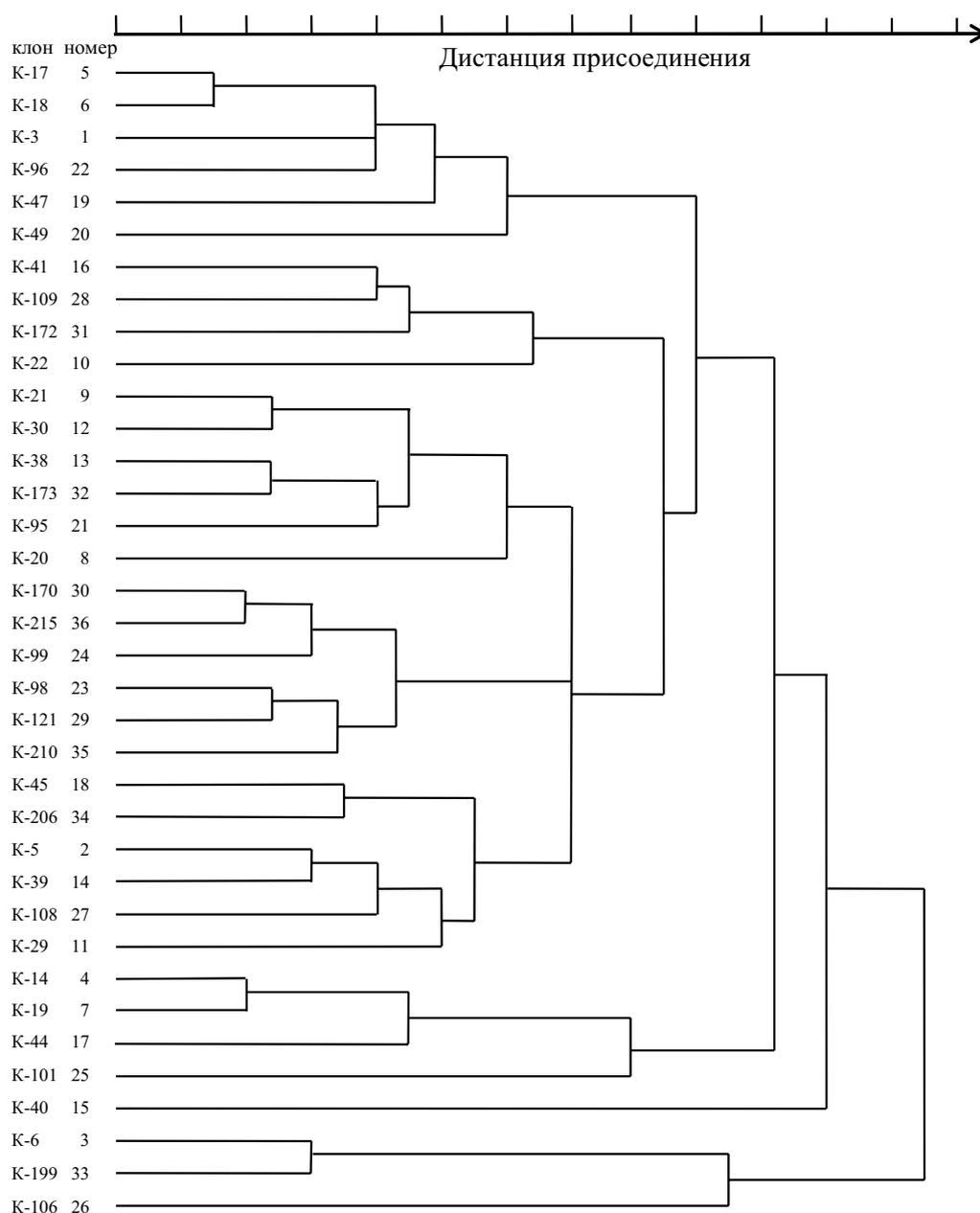


Рис. 2. Дендрограмма статистической близости ассортимента плюсовых деревьев в составе ЛСП № 24 по оценкам содержания запасных веществ (44 исходных нормированных признака): агломерация по квадрату евклидова расстояния

ветственно. Вторая группировка из 7 объектов (К-121, К-170, К-108, К-5, К-39, К-210, К-98) несколько плотнее: её уровни кластеризации от 3,6 до 8,8 единиц. Третья содержит в своем составе 5 элементов (К-38, К-173, К-30, К-199, К-21), пределы объединения которых достигали величин 4,6–8,0 единиц. Четвертый микрокластер образовался на уровне 9,1 единицы только из двух плюсовых деревьев (К-45, К-206). Оставшиеся плюсовые деревья входят в состав неплотных и меньших по численности кластеров, которые завешают формирование иерархической системы на основании сходства. Некоторые из них (К-29, К-22, К-6, К-40, К-106) наиболее удалены от остальных по комплексу своих характеристик и, не входя в какой-либо из кластеров, последовательно присоединяются к ранее сформированному ядру на максимальных уровнях: 19,7–25,0.

Полученная информация дифференцирует комплекс анализируемых плюсовых деревьев, представленных на ЛСП № 24, с позиций «наиболее близкие – наиболее удаленные» по всему набору их характеристик.

Установленная степень близости между ними по характеристикам состава запасных веществ в тканях побегов позволяет выявить группы наиболее сходных между собой образцов. К таковым могут быть отнесены, прежде всего, плюсовые деревья К-17 и К-18, К-121 и К-170, К-5 и К-39, К-14 и К-19, К-38 и К-173, а также К-30 и К-199. Их уровень первичного объединения не превышает 5 при диапазоне значений для всей процедуры кластеризации 25 масштабных единиц. При этом плюсовые деревья, вошедшие в первый микрокластер, заметно отличаются от тех, которые составили второй и третий: объединение происходит на уровне, близком к 14 единицам. В итоге весь ассортимент анализируемых плюсовых деревьев может быть представлен их группировками, различным образом удаленными одна от другой по установленному набору признаков. Аналогичные материалы были получены и на других объектах исследования. Повторение опытов в разные годы подтвердило устойчивость наблюдаемых тенденций.

В заключение можно отметить, что исследованный комплекс плюсовых деревьев сосны обыкновенной неоднороден по содержанию запасных веществ в тканях побегов. Степень несовпадения их характеристик неодинакова, что позволяет обозначить группы объектов, относительно близких между собой по всему набору анализируемых показателей – кластеры, притом, что между группами обнаруживаются хорошо заметные различия. Факторный анализ позволил выполнить редукцию числа показателей при принципиальном сохранении информативности данных, представленных в исходном комплексе. Результаты построения дендрограмм по сформированным факторам вполне адекватны итогам их построения по первичным данным. Кластерный анализ позволил выполнить естественную группировку ассортимента плюсовых деревьев по критериям сходства оценок содержания запасных веществ. Установлены группы плюсовых деревьев, имеющие относительно близкие характеристики по всему перечню анализируемых признаков – присутствию крахмала, жиров, сахаров, их суммарному содержанию и соотношению между ними в разные сроки учета. Выявлены объекты, являющиеся наиболее отдаленными от других в их исследованной совокупности.

Сведения о степени близости объектов позволяют обоснованно подойти к выбору компонентов родительских пар и составлению диаллельных комплексов при планировании мероприятий по гибридизации. Это может иметь отношение как к гетерозисной селекции, так и к работам по гибридологическому анализу, необходимому для оценки селекционного качества плюсовых деревьев, отобранных по фенотипу. При формировании родительских пар, близких по составу запасных веществ, в них следует включать плюсовые деревья, которые входят в один кластер. При осуществлении стратегии использования отдаленных по своим признакам родителей целесообразно ориентироваться на их принадлежность к разным кластерам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бессчетнова Н.Н. Содержание запасных веществ и ход лигнификации в тканях побегов у вегетативного потомства плюсовых деревьев сосны обыкновенной / Бессчетнова Н.Н. // Актуальные проблемы лесного хозяйства Нижегородского Поволжья и пути их решения: сб. науч. стат. по матер. науч.-практ. конф., посвященной 75-летию НГСХА. Нижний Новгород, 2005. С. 20–28.
2. Гродзинский А.М. Краткий справочник по физиологии растений / А.М. Гродзинский, Д.М. Гродзинский. Киев: Наукова думка, 1964. 288 с.
3. Ефимов Ю.П. Генетико-селекционная оценка объектов постоянной лесосеменной базы / Ю.П. Ефимов // Генетика и селекция – на службе лесу: матер. междунар. науч. конф., Воронеж, 28–29 июня 1996 г. Воронеж: Изд-во НИИЛГиС, 1997. С. 298–307.

4. *Ефимов Ю.П.* Семенные плантации в селекции и семеноводстве сосны обыкновенной / Ю.П. Ефимов. Воронеж: Истоки, 2010. 253 с.
5. *Коновалов Н.А.* Основы лесной селекции и сортового семеноводства / Н.А. Коновалов, Е.А. Пугач. М.: Лесн. пром-сть, 1978. 176 с.
6. *Мандель И.Д.* Кластерный анализ / И.Д. Мандель. М.: Финансы и статистика, 1988. 176 с.
7. *Никитин К.Е.* Методы и техника обработки лесоводственной информации / К.Е. Никитин, А.З. Швиденко. М.: Лесн. пром-сть, 1978. 272 с.
8. *Петров С.А.* Рекомендации по использованию генетико-статистических методов в селекции лесных пород на продуктивность / С.А. Петров. Воронеж, 1984. 43 с.
9. *Петров С.А.* Система плюсовой селекции / С.А. Петров // Разработка основ систем селекции древесных пород: тез. докл. совещания. Ч. I. Рига, 1981. С. 103–105.
10. *Потылев В.Г.* Проблемы лесного селекционного семеноводства / В.Г. Потылев // Лесохозяйственная информация. 1997. № 3. С. 14–30.
11. *Правдин Л.Ф.* Научные основы организации устойчивой лесосеменной базы / Л.Ф. Правдин, В.П. Яркин // Научные основы селекции хвойных древесных пород. М.: Наука, 1978. С. 125–142.
12. *Прозина Н.М.* Ботаническая микротехника / Н.М. Прозина. М.: Высш. шк., 1960. 205 с.
13. *Рутковский И.В.* Состояние лесного семеноводства и перспективы его развития / И.В. Рутковский // Пятый всероссийский съезд лесоводов (25–27 февраля 2003 г.). М.: ВНИИЛМ, 2003. С. 190–194.
14. *Сахаров В.И.* Методы оценки эколого-генетической структуры популяций древесных видов для выбора модели селекции / В.И. Сахаров. Алматы, 2006. 384 с.
15. *Царев А.П.* Вопросы и проблемы плюсовой селекции / А.П. Царев, Н.В. Лаур // Лесной вестник. 2006. № 5. С. 118–123.

Поступила 2.02.11

V.P. Beschetnov, N.N. Beschetnova
Nizhniy Novgorod State Agricultural Academy

Scots pine elite trees selective estimation by means of multivariate analysis method

A comprehensive comparative estimation of the Scots pine (*Pinus sylvestris*) plus trees regarding the reserve substances content in annual sprouts fabrics has been obtained. Degree of resemblance between assortment composition of the seed plantations and the clones archives in the Nizhniy Novgorod area is ascertained.

Key words: scots pine (*Pinus Sylvestris*), elite trees, reserve substances, euclidean distance, dendrogram.



УДК 674:519

И.Р. Шегельман, А.С. Васильев, А.Ю. Лапатин

Петрозаводский государственный университет

Шегельман Илья Романович родился в 1944 г., окончил в 1968 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии и оборудования лесного комплекса, директор Карельского НИИ лесопромышленного комплекса Петрозаводского государственного университета. Имеет более 485 работ в области оптимизации выбора техники, технологии и организации процессов в лесопромышленном комплексе, обоснования проектных решений по совершенствованию заготовительно-транспортных операций лесозаготовок.
E-mail: shegelman@onego.ru



Васильев Алексей Сергеевич родился в 1979 г., в 2001 г. окончил Петрозаводский государственный университет, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и оборудования лесного комплекса Петрозаводского государственного университета. Имеет 42 публикации, 6 изобретений в области исследования эксплуатационных параметров круглых лесоматериалов и групповой окорки древесины.
E-mail: alvas@psu.karelia.ru



Лапатин Александр Юрьевич родился в 1956 г., окончил в 1978 г. Петрозаводский государственный университет, кандидат технических наук, доцент кафедры промышленного транспорта и геодезии Петрозаводского государственного университета. Область научных интересов – окорка древесины. Имеет 50 печатных работ в области окорки древесины.
E-mail: harnish2811@gmail.com



АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ГРУППОВОЙ ОКОРКИ ПРИ ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ И ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРАХ

Рассмотрена физическая сущность процесса отделения коры от древесины при положительной и отрицательной температурах с точки зрения ударного взаимодействия бревен на примере окорочной установки барабанного типа.

Ключевые слова: окорка, древесина, ударное взаимодействие.

Окорка древесины – сложный процесс, зависящий от множества факторов. Одним из таких факторов, оказывающих весьма значительное влияние на процесс отделения коры от древесины является температурный фактор. Как показывает практика свежесрубленная древесина при заготовке в летне-осенний период, т.е. при положительной температуре, окаривается значительно быстрее, а следовательно, и с меньшими энергетическими и финансовыми затратами, чем промерзшая древесина, заготовленная в зимний период при температуре ниже минус 10°C. Кроме того, при окорке промерзших лесоматериалов происходит повреждение древесины ствола окариваемых бревен. Влияние периода обработки лесоматериалов на скорость и качество процесса окорки обусловлено изменением прочности и сил сцепления коры с древесиной.

Наиболее благоприятным для окорки является весенний период вегетации, когда силы сцепления коры с древесиной резко уменьшаются. Снижение прочности сцепления коры с древесиной при этом вызвано тем, что в период вегетации живые клетки камбиального слоя (луба) набухают, легко разрушаются и отслаиваются от древесины [3].

© Шегельман И.Р., Васильев А.С., Лапатин А.Ю., 2012

В осенний и зимний периоды, когда сокодвижение прекращается, происходит увеличение вязкости находящихся в клетках питательных веществ и одревеснение клеточных оболочек камбия, приводящее к увеличению силы сцепления коры с древесиной. Установлено, что эти силы увеличиваются в десятки, а иногда и в сотни раз [3]. В связи с увеличением продолжительности окорки в летне-осенний период, по сравнению с весенним, потери древесины в окорочных барабанах возрастают для ели, березы и осины соответственно в 1,6–2, 1,5–2,7 и 1,5–2,5 раза. В зимний период при отрицательных температурах показатели процесса окорки ухудшаются еще больше. Это связано с промерзанием коры и образованием вокруг древесины кристаллического каркаса из льда [5].

Для объяснения таких различий в процессе окорки, связанных с температурным фактором, физическую сущность процесса отделения коры от древесины при положительной и отрицательной температурах рассмотрим с точки зрения ударного взаимодействия бревен на примере окорочной установки барабанного типа.

При взаимодействии отрезков древесины в окорочном барабане имеет место стесненный удар [1], т.е. такой удар, при котором хотя бы на одно из взаимодействующих бревен накладывается некоторая механическая связь. В рассматриваемом случае связь выражается во взаимодействии с внутренней поверхностью барабана и соседними бревнами.

Параметры ударного взаимодействия древесины в окорочном барабане следует искать, анализируя поведение не только бревен, составляющих ударную пару, но и других, контактирующих с ними, составляющих в совокупности некоторую механическую систему. Ввиду многообразия и сложности такой общей постановки целесообразно ограничиться высказанной задачей о стесненном ударе.

Перемещение древесины в окорочном барабане происходит в соответствии с законами классической механики. Возникающие ударные силы характеризуются кратковременностью интервала времени их действия и значительной величиной. Поэтому координаты перемещающихся отрезков древесины за время удара не изменяются, скорости получают конечные приращения.

Например, если определять координаты отрезков с точностью до миллиметра, и учитывая, что скорости перемещения не превышают десяти метров в секунду, то промежуток действия ударной силы ограничен одной десятитысячной долей секунды. Такое взаимодействие характерно для упругих твердых тел [4].

Удобной мерой ударной силы \bar{F} служит ее интегральная характеристика – ударный импульс \bar{I} , который определяется по известной формуле

$$\bar{I} = \int_{t_0}^{t_0 + \tau} \bar{F}(t) dt, \quad (1)$$

где $t_0, t_0 + \tau$ – интервал времени, в течение которого действует сила.

Величина ударной силы будет определять ускорения, с которыми движутся взаимодействующие бревна, а задача определения перемещений и скоростей сведется к интегрированию дифференциальных уравнений.

Мерой изменения скоростей вследствие удара служит ударный импульс, рассчитываемый по формуле (1).

Рассмотрим два типа взаимодействия коры и древесины: первый – взаимодействие древесины при положительной температуре, или «мягкое» взаимодействие; второй – взаимодействие мороженой древесины при отрицательной температуре, или «жесткое» взаимодействие.

В качестве модели «мягкого» взаимодействия рассмотрим систему двух тел, соединенных упругими волокнами пренебрежимо малой массы (рис. 1, а). Такое взаимодействие допускает относительное перемещение тел.

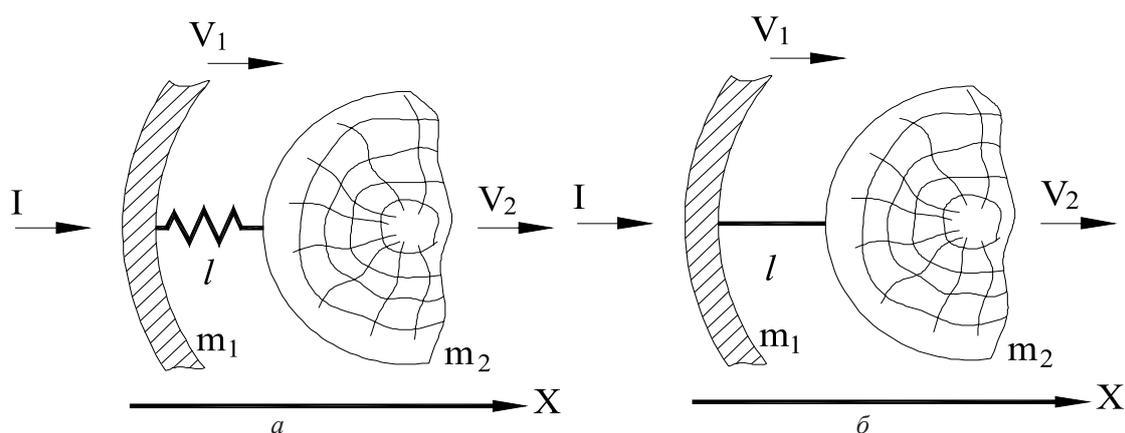


Рис. 1. Расчетная схема «мягкого» (а) и «жесткого» (б) взаимодействия

В качестве модели «жесткого» взаимодействия (рис. 1, б) рассмотрим систему двух тел, соединенных жесткими волокнами пренебрежимо малой массы, оно характеризуется возникновением значительных усилий, которые приводят к деформации.

В случае «мягкого» взаимодействия внутренняя сила \bar{R}_{12} , отражающая попарное взаимодействие тел, направлена вдоль прямой, соединяющей центры масс тел, а ее величина является линейной функцией расстояния между ними [4]:

$$\bar{R}_{12} = C(l + x_1 - x_2), \quad (2)$$

где C – жесткость соединительных волокон;

l – длина волокон в ненапряженном состоянии;

x_1 и x_2 – координаты коры и непосредственно древесины.

При этом вследствие третьего закона Ньютона

$$\bar{R}_{12} = -\bar{R}_{21}. \quad (3)$$

Допустим, что в начальный момент времени система находится в равновесии, а затем к телу массой m_1 прикладывается ударная сила F , равная I/τ в интервале времени $t \in (0, \tau)$ и нулю вне этого интервала. В этом случае уравнения движения тел в соответствии со вторым законом Ньютона будут иметь вид

$$m_1 \ddot{x}_1 = \bar{F} + \bar{R}_{21}; \quad (4)$$

$$m_2 \ddot{x}_2 = \bar{F} + \bar{R}_{12}.$$

С учетом формул (1)–(3) уравнения (4) примут вид

$$m_1 \ddot{x}_1 = \frac{I}{\tau} - C(l + x_1 - x_2); \quad (5)$$

$$m_2 \ddot{x}_2 = C(l + x_1 - x_2).$$

В силу сделанных предположений начальные значения переменных (при $t = 0$) задаются равенствами

$$\begin{cases} x_1(0) = 0; \\ x_2(0) = d; \\ \dot{x}_1(0) = 0; \\ \dot{x}_2(0) = 0. \end{cases} \quad (6)$$

Система выражений (5), (6) линейна и допускает явное аналитическое решение, которое в интервале $(0, \tau)$ имеет вид

$$x_1 = \frac{I}{\tau(m_1 + m_2)} \left(\frac{t^2}{2} + \frac{m_2}{C} - \frac{1}{k^2} - \frac{m_2}{m_1 k^2} \cos \theta \right);$$

$$x_2 = \frac{I d}{\tau(m_1 + m_2)} \left(\frac{t^2}{2} - \frac{1}{k^2} + \frac{1}{k^2} \cos \theta \right)$$
(7)

где θ – степень сопротивления элемента коры удару;

d – диаметр бревна;

k – циклическая частота колебаний.

Степень сопротивления элемента коры удару определяется формулой

$$\theta = k \tau. \tag{8}$$

Частота колебаний определяется формулой

$$k^2 = \frac{C(m_1 + m_2)}{m_1 m_2}. \tag{9}$$

К моменту окончания удара $t = \tau$ координаты получают приращение порядка τ , а для скоростей будут справедливы следующие выражения:

$$\dot{x}_1(\tau) = \dot{x}_1(\tau, \theta) = \frac{I}{m_1 + m_2} \left(1 + \frac{m_2}{m_1} \frac{\sin \theta}{\theta} \right);$$

$$\dot{x}_2(\tau) = \dot{x}_2(\tau, \theta) = \frac{I}{m_1 + m_2} \left(1 - \frac{\sin \theta}{\theta} \right)$$
(10)

Изучим поведение функций (10) для фиксированного k при $\tau \rightarrow 0$.

В предельном случае при $\theta \rightarrow 0$, который соответствует «мягкому» взаимодействию древесины при положительной температуре, имеем

$$\lim_{\theta \rightarrow 0} \dot{x}_1(\tau, \theta) \approx \frac{I}{m_1};$$
(11)

$$\lim_{\theta \rightarrow 0} \dot{x}_2(\tau, \theta) = 0.$$

В этом случае, как показывает выражение (11), скорости коры и древесины различны, следовательно, происходит процесс отделения коры от древесины – окорка.

Другой предельный случай $\theta \rightarrow \infty$ соответствует «жесткому» взаимодействию мороженой древесины:

$$\lim_{\theta \rightarrow \infty} \dot{x}_1(\tau, \theta) = \lim_{\theta \rightarrow \infty} \dot{x}_2(\tau, \theta) \approx \frac{I}{m_1 + m_2}. \tag{12}$$

Выражение (12), соответствующее «жесткому» взаимодействию, показывает, что скорости коры и древесины одинаковы, следовательно, отделение коры от древесины не происходит.

Физический смысл выражения (12) ясен из рассмотрения схемы (рис. 2) «жесткого» взаимодействия при помощи жесткой связи длиной l , которая накладывает жесткое ограничение на скорости коры и древесины, что затрудняет окорку мороженой и засохшей древесины.

Приведенный теоретический анализ позволяет объяснить, используя теорию ударного взаимодействия, сущность процесса окорки свежесрубленной древесины при положительной температуре, а также мороженой и засохшей древесины. Выражения (10) есть решение прямой задачи – воздействие удара на систему тел. Анализируя его, можно прийти к выводу, что конечный результат процесса окорки определяется величиной θ , которая согласно формулам (8) и (9) находится в прямой зависимости от жесткости коры.

Физическая сущность процесса окорки ударным способом заключается в том, что при ударе происходит ослабление силы сцепления коры с древесиной и с каждым ударом эта связь коры и древесины ослабевает, ослабление связи происходит до тех пор, пока не произойдет окончательная ее утрата, и вследствие чего, произойдет отделение участка коры.

Построенная математическая модель (10), описывающая физическую сущность процесса отделения коры от древесины при положительной и отрицательной температурах показала, что процесс отделения коры от древесины зависит от степени сопротивления элемента коры удару, которая определяется формулой (8) и согласно формуле (9) находится в прямой зависимости от жесткости коры, оказывающей влияние на условный предел прочности коры на скалывание по камбиальному слою.

Полученные выводы подтверждаются результатами исследований [2] по изучению древесины как предмета труда при окорке, проведенными в условиях Республики Карелия для свежесрубленной балансовой древесины, диаметрами 8–20 см при положительной (температурный диапазон плюс 18–22°C) и отрицательной (температурный диапазон минус 10–15°C) температурах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бойков С.П.* Теория процесса очистки древесины от коры. Л.: ЛГУ, 1980. 152 с.
2. *Васильев А.С.* Обоснование технических решений, повышающих эффективность режимов групповой окорки древесного сырья: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Петрозаводск: ПетрГУ, 2004. 19 с.
3. *Житков А.В.* Оборудование складов лесоматериалов. М.: Лесн. пром-сть, 1965. 558 с.
4. *Иванов А.П.* Динамика систем с механическими соударениями. М.: Международная программа образования, 1997. 336 с.
5. *Симонов М.Н., Югов В.Г.* Окорка древесины. М., 1972. 128 с.

Поступила 07.06.10

I.R. Shegelman, A.S. Vasiliev, A.Y. Lapatin

Petrozavodsk State University

Analysis of grouped debarking process at positive and negative temperatures

Physical nature of bark-wood separation process at positive and negative temperatures has been examined. Specificity of logs percussive interaction in a barking drum is considered.

Key words: debarking, wood, percussive interaction.

УДК 676:2.053:628.517.2

В.Н. Старжинский, Д.Р. Гагарин

Уральский государственный лесотехнический университет

Старжинский Валентин Николаевич родился в 1941 г., окончил в 1963 г. Уральский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой охраны труда Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет более 150 печатных работ в области промышленной акустики.

E-mail: dedvns@mail.ru



Гагарин Дмитрий Робертович родился в 1987 г., окончил в 2009 г. Уральский государственный лесотехнический университет, аспирант Уральского государственного лесотехнического университета, имеет 2 работы в области промышленной акустики.

E-mail: demonsaab@mail.ru



К РАСЧЕТУ ЗВУКОВОЙ МОЩНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ ЛЕСНОГО КОМПЛЕКСА С УДАРНЫМИ НАГРУЗКАМИ

Разработан метод определения звуковой мощности, излучаемой корпусными конструкциями оборудования лесного комплекса, находящимися под действием динамических нагрузок.

Ключевые слова: шум, звуковая мощность, коэффициент излучения, коэффициент прохождения изгибных волн, критическая частота, колебательная скорость.

Реальные машины, излучающие шум из-за ударных процессов, возникающих при их работе, представляют собой сложные колебательные системы, строгий расчет звукового поля которых практически невозможен. К таким источникам шума на предприятиях лесного комплекса относятся рубительные машины, защитные кожухи деревообрабатывающих станков, а так же такие конструктивные элементы машин и оборудования как загрузочные и пересыпные лотки.

Практически ни один из источников шума оборудования с импульсивным возбуждением нельзя аппроксимировать элементарными излучателями – монополюсом, диполем (мы не рассматриваем здесь вопросы шумообразования в приводных механизмах, где такая аппроксимация возможна). Источниками шума этого оборудования являются колеблющиеся поверхности, находящиеся под действием ударной нагрузки.

Во всех случаях, перечисленных выше, причиной шума являются изгибные волны в конструкциях, представляющих собой различные комбинации соединенных пластин. Другие типы упругих волн на звукоизлучение указанных конструкций оказывают слабое влияние. Теоретическое описание излучения звука реальными конструкциями машин на современном этапе развития технической акустики не представляется возможным. Колеблющиеся плоские элементы машин представляют собой акустические решетки, ячейки которых определяются сеткой узловых линий.

Вопросы, относящиеся к направленности излучения, здесь рассматриваться не будут. Попытаемся оценить излучаемую звуковую мощность. Такая оценка важна при решении практических задач, связанных со снижением шума оборудо-

вания на стадии проектирования. Излучение звука при изгибных колебаниях пластин конечных размеров в общем виде рассматриваются в ряде работ. Не останавливаясь на теоретической стороне вопроса, укажем на основные моменты, характеризующие процесс излучения звука пластиной, в которой возбуждаются изгибные колебания.

Изгибные колебания, амплитуда которых синусоидально изменяется с расстоянием, излучают звук в том случае, когда длина изгибной волны в структуре колебаний пластины больше, чем длина звуковой волны. В этом случае звуковые поля, возбуждаемые каждым элементом решетки пластины, можно рассматривать как пространственно некоррелированные, и сопротивление излучения на единицу площади пластины близко к ρC (ρ – плотность воздуха; C – скорость звука). Если же длина изгибной волны меньше длины звуковой волны, что возможно на низких звуковых частотах, то возбуждается безваттный поток, который не сопровождается звуковым излучением, т.е. излучатель работает в режиме акустического короткого замыкания. Однако даже на низких частотах звук возбуждается из-за искажения синусоидального поля колебаний в окрестностях возбуждающей силы и из-за нарушения непрерывности поля колебаний вблизи краев пластин.

Применив модифицированный принцип Гюйгенса, можно установить, что точечная сила возбуждает в пластине расходящиеся изгибные волны. Следующие одна за другой круговые зоны шириной в половину изгибной волны имеют противоположные фазы. Вклады любых двух соседних половин таких зон в звуковое излучение взаимно уничтожаются. Тогда звуковая мощность оказывается обусловленной исключительно объемным потоком, который возбуждается первой половиной круговой зоны, оставшейся в результате взаимной компенсации. Звуковая мощность в этом случае эквивалентна звуковому полю, возбуждаемому низшими формами собственных колебаний, которые акустически не замкнуты накоротко.

В том случае, когда внешняя сила представляет собой ударную нагрузку, приложенную в точке, возбуждаются колебания практически всех форм собственных колебаний, резонансные частоты которых значительно ниже частоты сил. Для этих форм собственных колебаний расстояние между узловыми линиями значительно больше половины звуковой волны. Они акустически не замкнуты накоротко и их сопротивления излучения близки.

Следовательно, звуковую мощность можно рассчитать, суммируя вклады всех форм собственных колебаний, порядок которых ниже номера формы собственных колебаний, соответствующей случаю акустического короткого замыкания, при котором сопротивление излучения равно нулю.

Практическая реализация разработанных теоретических методов для решения прикладных задач оказывается очень сложной. В инженерной практике принято звуковую мощность, излучаемую источником с заданным распределением колебательной скорости, выражать через коэффициент излучения σ [1]:

$$P = \rho c s \sigma V^2, \quad (1)$$

где P – звуковая мощность, Вт;

s – площадь поверхности излучения, м²;

V^2 – среднее значение квадрата колебательной скорости излучающей поверхности, м/с;

ρc – волновое сопротивление среды, кг/м²с;

σ – коэффициент излучения.

Исходя из вышесказанного, реальные элементы оборудования, представляющие собой пластины, излучают хорошо звук на тех частотах, на которых $\lambda_n > \lambda$ (где

λ_{II} – длина изгибной волны в пластине; λ – длина звуковой волны). Для низких частот коэффициент σ меньше 1 и зависит от соотношения многих факторов реальной конструкции.

Для каждой пластины условие $\lambda_{II} = \lambda$ соответствует вполне определенной частоте, называемой критической:

$$f_{кр} = \frac{c^2}{\pi \delta} \sqrt{\frac{3\rho(1-\mu^2)}{E}}, \quad (2)$$

где ρ , δ , E , μ – соответственно плотность, толщина, модуль продольной упругости, коэффициент Пуассона материала пластины.

На величину коэффициента излучения в докритической области частот оказывают влияние размеры пластины, условия закрепления ее по контуру, условия возбуждения колебаний. Кроме того, на звукоизлучение реальных элементов машин часто оказывают влияние реакции ограниченных воздушных объемов, которые образованы этими плоскими элементами. Поэтому возникает вопрос о создании такой расчетной схемы, которая позволила бы с достаточной для практических целей точностью описать вибрационные характеристики конкретных конструкций оборудования, находящихся под воздействием ударных нагрузок, и их звуковое поле. Инженерный подход к указанной задаче предполагает определенные упрощения в модели расчета. Допустимые пределы упрощения определяются сравнением экспериментальных и расчетных значений излучаемого шума.

Рассмотрим процесс шумообразования в машинах с ударным возбуждением. Изгибные волны, возбуждаемые ударом в плоском элементе машины, излучаются в виде звука. Часть энергии колебаний передается на сопряженные с возбуждаемым элементом пластины, которые также излучают звук (рис. 1). Величина звуковой мощности, излучаемой с сопряженных поверхностей, в некоторых случаях может быть соизмерима с величиной звуковой мощности, излучаемой пластиной, непосредственно подвергающейся ударной нагрузке. В других случаях при расчете звуковой мощности машины первой величиной можно пренебречь, так как

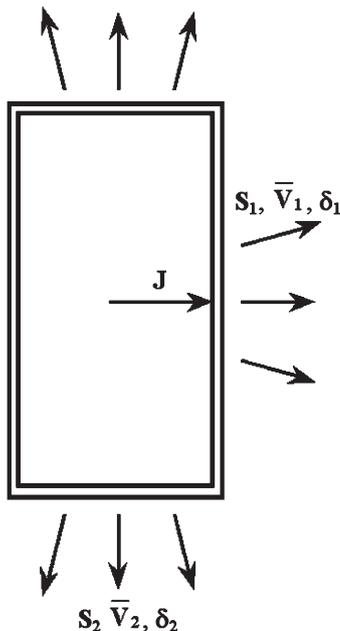


Рис. 1. Акустическая модель машины с ударным возбуждением шума

часть энергии колебаний при переходе через стыки плоских элементов машины затухает и излучаемая ею мощность не оказывает существенного влияния на звуковую мощность всей машины.

Если известен средний по площади пластины 1 квадрат колебательной скорости V_1^2 , то средний квадрат колебательной скорости в пластине 2 V_2^2 можно найти по формуле [1]

$$V_2^2 \approx V_1^2 \frac{\tau}{(2-\tau)} \frac{\delta_1 c_1}{\delta_2 c_2}, \quad (3)$$

где c_1, c_2 – скорости изгибных волн в 1-й и 2-й пластинах;

δ_1, δ_2 – толщины стыкуемых элементов;

τ – коэффициент прохождения изгибных волн при угловом соединении элементов конструкции машин.

$$\tau = 2(\alpha^{-5/4} + \alpha^{5/4}),$$

$$\alpha = \frac{\delta_1}{\delta_2}.$$

Звуковая мощность, излучаемая машиной, согласно энергетическому методу распространения вибрации в конструктивных элементах будет равна

$$P_{\text{маш}} = P_1 + P_2 = \rho c \sigma_1 s_1 V_1^2 + \rho c \sigma_2 s_2 V_2^2 = \rho c V_1^2 \left(\sigma_1 s_1 + \sigma_2 s_2 \frac{\delta_1 c_1}{\delta_2 c_2} \frac{\tau}{2-\tau} \right), \quad (4)$$

где P_1 – звуковая мощность, излучаемая элементом конструкции, подвергающемся действию ударной нагрузки;

P_2 – звуковая мощность, излучаемая сопряженными с основным элементом конструкциями машины;

σ_1, σ_2 – коэффициенты излучения основного и сопряженных элементов конструкции;

s_1, s_2 – площади основного и сопряженных элементов конструкции.

Уровень звуковой мощности будет равен, дБ:

$$L_p = 20 \lg V_1 + 10 \lg \left[\sigma_1 s_1 + \sigma_2 s_2 \frac{\tau}{2-\tau} \frac{c_1}{c_2} \frac{\delta_1}{\delta_2} \right]. \quad (5)$$

Проанализируем второй член уравнения, характеризующий влияние на уровень излучаемой машиной звуковой мощности характера передачи вибрации через стыки элементов конструкции машин при различных условиях закрепления краев.

В реальных конструкциях машин лесного комплекса отношение толщин сопрягаемых элементов может изменяться в пределах от 1 до 4. Величина коэффициента τ при этом может изменяться от 0,9 до 1,1. Отношение фазовых скоростей изгибных волн для элементов машин, изготовленных из одного материала, при $\alpha = 1-4$ находится в пределах от 1 до 1,5.

На величину излучаемой звуковой мощности большое влияние оказывает коэффициент излучения σ как основного, так и сопряженных элементов конструкции машины в области частот $f < f_{кр}$. Так как условия закрепления и площадь пластины на величину коэффициента σ влияния практически не оказывают, то можно принять [2]

$$\sigma = \frac{PC}{\pi^2 s f_{кр}} \sqrt{\frac{f}{f_{кр}}} \quad \text{при } f < f_{кр}, \quad (6)$$

$$\sigma = 1,0 \quad \text{при } f \geq f_{кр},$$

где P – периметр контура пластины;

C – скорость звука.

Оценим влияние сопряженных элементов конструкции на величину излучаемого шума. Здесь возможны два случая, встречающиеся в конструкциях машин и оборудования лесного комплекса [3].

1. Колебания возбуждаются в плоском элементе конструкции машины, толщина которого больше толщин сопрягаемых элементов ($f_{кр1} < f_{кр2}$).

2. Сопрягаемые элементы имеют равную толщину ($f_{кр1} = f_{кр2}$).

В первом случае (рис. 2) можно выделить три характерных частотных области. В первой и во второй областях общая звуковая мощность машины определяется излучением основного элемента. В третьей области звуковая мощность зависит от излучения как основного, так и сопряженных элементов.

Исходя из вышесказанного, звуковую мощность можно определить из формулы (5) для каждой области частот по следующим зависимостям:

$$L_p \approx 20 \lg V_1 + 10 \lg \sigma_1 s_1 \quad \text{при } f < f_{кр1},$$

$$L_p \approx 20 \lg V_1 + 10 \lg s_1 \quad \text{при } f_{кр1} < f < f_{кр2}, \quad (7)$$

$$L_p \approx 20 \lg V_1 + 10 \lg (s_1 + \sigma s_2) \quad \text{при } f > f_{кр2}.$$

Во втором случае $f_{кр1} = f_{кр2}$ и звуковая мощность, излучаемая машиной, определится по формуле

$$L_p \approx 20 \lg V_1 + 10 \lg \sigma_1 (s_1 + s_2). \quad (8)$$

Таким образом, решение задачи по определению звуковой мощности оборудования с ударными технологическими нагрузками заключается в отыскании среднего квадрата колебательной скорости основного элемента, подвергающегося силовому воздействию.

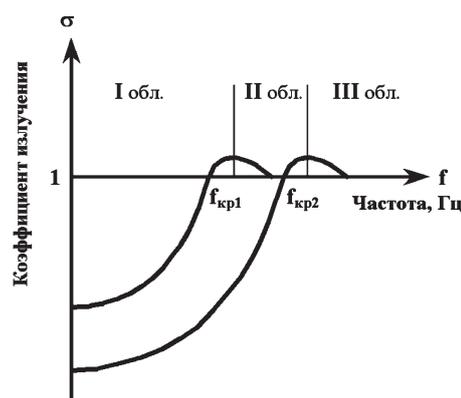


Рис. 2. К вопросу излучения корпусного шума машиной

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никифоров А.С. Акустическое проектирование судовых конструкций. М.: Судостроение, 1998. 200 с.
2. Справочник по технологической акустике / под. ред. М. Хекла, М.А. Мюллера. Л.: Судостроение, 1980. 438 с.
3. Санников А.А. Вибрация и шум технологических машин и оборудования отраслей лесного комплекса / А.А. Санников, В.Н. Старжинский, Н.В. Куцубина, Н.Н. Черемных, В.П. Сиваков, С.Н. Вихарев. Екатеринбург: Уральский госуд. лесотехн. ун-т, 2006. 483 с.

Поступила 11.05.10

V.N. Starzhinskiy, D.R. Gagarin

Ural State Forestry University

Sound pressure dimensioning of a forest complex machinery undergoing impact loads

Dimensioning method for sound pressure generated by the case-type parts of a woodworking machinery undergoing impact loads, has been worked out.

Key words: noise, sound pressure, emissivity factor, flexural wave propagation factor, cutoff frequency, vibrational speed.

УДК 630.5

В.С. Морозов, И.Н. Беляев

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

Морозов Владимир Станиславович родился в 1955 г., окончил в 1978 г. Архангельский лесотехнический институт имени В.В. Куйбышева, доктор технических наук, профессор кафедры строительной механики и сопротивления материалов Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет около 50 печатных работ в области строительства и эксплуатации зимних ледовозных дорог.

E-mail: v.morozov@agtu.ru



Беляев Иван Николаевич родился в 1985 г., окончил в 2008 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры строительной механики и сопротивления материалов Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет 5 печатных работ в области исследований физико-механических свойств сухойстойной древесины и проблем ее использования. Тел.: 8(8182) 23-46-76



ОЦЕНКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ СОРТОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СУХОСТОЙНЫХ СТВОЛОВ ЕЛИ ОБЫКНОВЕННОЙ, ПРОИЗРАСТАЮЩЕЙ НА ТЕРРИТОРИИ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

Разработана математическая модель хлыста, полученного из ствола сухойстойной или усыхающей ели обыкновенной (*Picea Abies*), произрастающей на территории Архангельской области и описывающей его основные сортовые характеристики.

Ключевые слова: древесина, сухойстой, моделирование, сорт, лесозаготовки.

При описании сухойстойной древесины как сырья для технологической обработки и совершенствования технологии проведения лесозаготовительных работ в усыхающем еловом древостое необходимо иметь полное представление о сортовых характеристиках стволов, произрастающих в таких древостоях.

Под термином «сортовые характеристики» понимаем следующую совокупность характеристик:

- геометрические характеристики – диаметр хлыста в произвольном сечении, длина хлыста и сбег;
- наличие пороков и их размерно-количественные характеристики согласно ГОСТ 2140-81 [4];
- пороки, присущие здоровым стволам (строение ствола, сучки и др.);
- пороки, присущие усыхающим и сухойстойным стволам (гнили, трещины, червоточины).

Категория дерева – здоровое, усыхающее, сухойстой текущего года, сухойстой прошлых лет [12].

Наиболее предпочтительной формой представления этих характеристик является набор вероятностных законов, полученных в результате обработки статистических данных. Объединение полученных закономерностей и их соответствующее математическое представление позволит получить математическую модель хлыста.

Для выполнения этой задачи проведено лесопатологическое обследование на территории Карпогорского лесничества Архангельской области на общей площа-

© Морозов В.С., Беляев И.Н., 2012

ди около 1 га и Архангельского лесничества Архангельской области на общей площади около 0,5 га. Статистическая обработка данных осуществлялась согласно ГОСТ 16483.0-89 [3], а также при помощи общих методов математической статистики и теории вероятностей.

Для описания формы ствола использовали степенную функцию (полином) Петровского [11], которая в общем виде имеет вид

$$D(l) = d_{0,5} \left[a_4 \left(\frac{l}{H} \right)^4 + a_3 \left(\frac{l}{H} \right)^3 + a_2 \left(\frac{l}{H} \right)^2 + a_1 \left(\frac{l}{H} \right) + a_0 \right], \quad (1)$$

где $D(l)$ – диаметр ствола на удалении от комля на расстояние l м;

$d_{0,5}$ – диаметр на половине длины хлыста;

H – длина хлыста;

a_0, \dots, a_4 – коэффициенты, уникальные для конкретной породы.

Коэффициенты a_0, \dots, a_4 были определены при обследовании усыхающего древостоя на территории Карпогорского лесничества Архангельской области путем обмера 200 стволов ели обыкновенной и последующей обработки полученных данным методами математической статистики.

Значения коэффициентов a_0, \dots, a_4 представлены в таблице 1.

Т а б л и ц а 1

Значения коэффициентов степенной функции (1), описывающей ствол ели обыкновенной, произрастающей на территории Архангельской области

Коэффициент	a_4	a_3	a_2	a_1	a_0
Значение	0,009	-1,917	3,091	-2,068	1,481

Выборка диаметров на высоте 1,3 м от комля стволов ели обыкновенной, произрастающей на территории Архангельской области, с достаточной точностью описывается нормальным законом вида (2) согласно данным распределения деревьев по ступеням толщины, приведенным в [10]:

$$f(d) = \frac{1}{7,69\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(d_i - 20,64)^2}{2 \cdot 7,69^2}}, \quad (2)$$

где d_i – диаметр ствола на высоте 1,3 м от комля.

Длина хлыста является величиной, зависящей от его диаметра в заданном сечении, и определяется по таксационным таблицам и результатам натурных обследований. Для определения длины хлыста нами использовались таксационные таблицы [1, 13], обобщенная характеристика еловых древостоев Архангельской области [15], а также результаты собственных исследований.

Для решения задачи по определению частоты встречаемости основных сортообразующих пороков в стволах усыхающей и сухостойной ели обыкновенной было проведено локальное лесопатологическое обследование со сбором соответствующей информации с каждого обследованного дерева. В качестве объекта обследования был выбран усыхающий еловый древостой, находящийся на территории Карпогорского лесничества Архангельской области. Критерием для выбора участка леса послужило значительное преобладание на его территории количества усыхающих и сухостойных деревьев над количеством здоровых, ввиду существенного запаса сухостойной древесины в этой области.

В качестве методики обследования был избран сплошной поштучный контроль каждого экземпляра древостоя с составлением на него индивидуальной учетной кар-

точки. В карточку заносились: давность усыхания дерева, диаметр ствола на высоте 1,3 м от комля, информация по наличию или отсутствию основных сортообразующих пороков, их размерно-количественные характеристики. Давность усыхания дерева определялась посредством визуального обследования ствола и кроны по методике, приведенной в [12]. Все обследованные экземпляры были разбиты на 3 группы – здоровые деревья (категории 1–4); сухостой текущего года, сухостой прошлых лет (соответственно, категории 5 и 6). Наличие пороков в стволах обследованных деревьев определялось путем выявления характерных внешних признаков согласно [4]. Учитывались только те пороки, повышенное интенсивное развитие которых в стволе дерева характерно для процесса усыхания (гнили, червоточины, трещины). Информация по сортообразующим порокам, характерным также для здоровых деревьев (сучки, пороки строения ствола и др.) не оценивалась. Дополнительно измерялись диаметры каждого обследованного ствола через каждые 10 см его длины.

Сухие деревья насаждения характеризовались интенсивной дихромацией и отпадом хвои, отпадом коры и ветвей, наличием на стволах внешних признаков грибных заболеваний, следов жизнедеятельности древесных энтомофитов, а также трещин различной глубины и относительной к длине ствола продолжительностью. У 8% осмотренных деревьев была обломлена верхняя часть ствола, 7% деревьев вывалились в валежник. Также выявлено значительное количество молодого елового подроста.

Из общего количества обследованных деревьев 52,90% были отнесены к сухостой прошлых лет; 36,50% – к сухостой текущего года; 5,90% – к усыхающим деревьям; 4,70% – к здоровым деревьям. Общая частота встречаемости основных сортообразующих пороков (гнили, червоточины) среди деревьев 2, 3 групп составила: гнили – 33%; червоточины – 62%, трещины различной конфигурации – 60%.

Известно, что встречаемость пороков в стволах усыхающих деревьев нелинейно зависит от их диаметра [6, 14]. В связи с этим, по итогам статистического анализа данных, полученных в ходе обследования древостоя, нами была построена экспериментальная кривая, характеризующая зависимость вероятности присутствия того или иного сортообразующего порока в стволе от его диаметра на высоте 1,3 м от груди. После интерполяции кривой при помощи полиномиальной функции были получены математические уравнения, описывающие природу распространения пороков в усыхающем древостое. Конечная кривая была построена в пределах ступеней толщины ствола.

По итогам обработки полученных данных установлено, что в общем случае функциональная зависимость (*вероятность присутствия порока в стволе, %*) – (*диаметр ствола, см*) может быть представлена в виде

$$P = ad^2 + bd + c, \quad (3)$$

где a, b, c – коэффициенты;

d – диаметр ствола, см;

P – вероятность присутствия порока в стволе, %.

Значения коэффициентов a, b, c для стволов 2, 3 групп представлены в табл. 2.

Графики функциональных зависимостей $P = f(d)$ для гнилей, трещин и червоточин в стволах 2, 3 групп представлены на рис. 1.

Видно, что встречаемость всех трех оцениваемых пороков находится в прямой зависимости от диаметра. Частота встречаемости также возрастает с давностью усыхания дерева. Для гнилей эта тенденция проявляется особенно ярко (при переходе из 2 в 3 группу в среднем на 51%), для червоточин – значительно менее ярко (в среднем на 2%), для трещин – в среднем на 34%.

Значения коэффициентов a , b , c для выражения (2)

Группа ствола	a	b	c
Для гнилей			
2	0,1357	-4,1926	46,8248
3	0,491	-15,1691	169,4144
Для трещин			
2	0,183	—	-60,23
3	0,253	—	-50,70
Для червоточин			
2	0,1821	-4,7734	86,5450
3	0,1897	-5,2975	96,0484

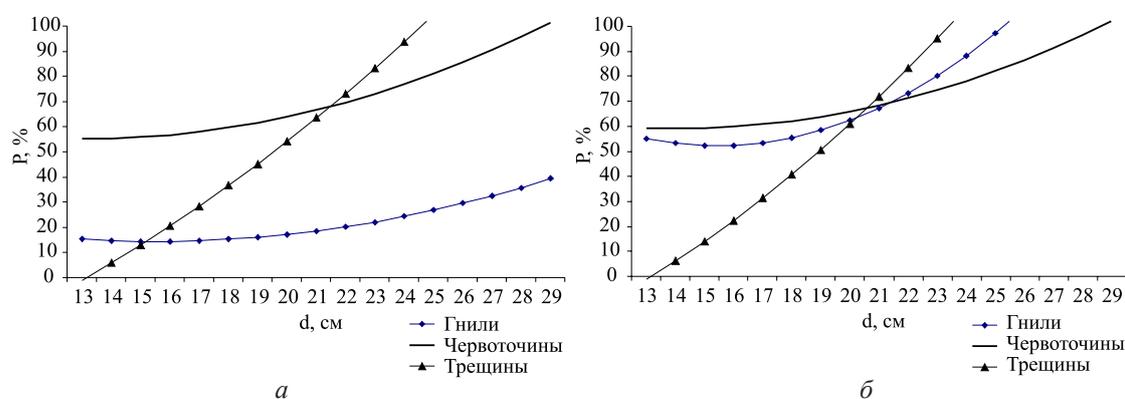


Рис. 1. Графики функциональных зависимостей встречаемости пороков в стволах 2-й (а) и 3-й (б) групп от их диаметра

Для деревьев первой группы (здоровых) встречаемость исследованных, а также прочих сортообразующих пороков была принята согласно известным данным для ели обыкновенной, произрастающей на территории Архангельской области, в стволах гнилей – 13,5%, червоточин – 0,4%, трещин – 2,2% [17].

Наличие гнили в стволах деревьев является одной из основных причин перевода их при сортировке в низкокачественное сырье (около 85% такого сырья содержит гнили различного рода). Следует также отметить, что напенная гниль, располагаясь в нижней части ствола, поражает наиболее ценную бессучковую зону древесины.

Наиболее распространенной разновидностью гнили в сухостойных стволах ели обыкновенной является напенная внутренняя гниль с протяженностью от комля ствола на 1–2 м. Стволовая гниль встречается реже [8, 9, 16]. Протяженность напенных гнилей в еловых насаждениях находится в пределах от 1,6 до 6,7 м [2]. Средняя протяженность гнили по длине ствола для ели Архангельской области составляет 3,94 м [7]. По расположению гнилей на срезах обследованных стволов преобладали заболонные и смешанные заболонно-ядровые гнили. Ядровые гнили в обследованной выборке стволов представлены не были, так как поражают преимущественно растущие деревья.

Согласно исследованиям, проведенным С.А. Громыко [6], диаметр гнили в комле ствола является случайной величиной, распределенной по нормальному закону. Общий вид распределения представлен выражением

$$f(G) = \frac{1}{\sqrt{2\pi D_2}} e^{-\left[\frac{(G - \bar{R})^2}{2D_2}\right]}, \quad (4)$$

где D_2 – дисперсия радиуса гнили в комлевой части ствола;
 \bar{R} – математическое ожидание радиуса гнили в комлевой части ствола;
 G – радиус гнили в комле ствола.

В ходе выполненных исследований явно выраженной зависимости между этими параметрами выявлено не было (вероятно, это обусловлено не столь значительным варьированием значения диаметра модельного ствола, как в упомянутой работе), поэтому для дальнейшей работы использовали выражение

$$f(G) = \frac{1}{\sqrt{2\pi \cdot 0,013}} e^{-\left[\frac{(G - 0,059)^2}{0,026}\right]}. \quad (4^*)$$

Для описания параметров L_2 и R применяли формулы, определенные С.А. Громыко [6] и описывающие форму напенной гнили как усеченный параболоид:

$$L_2 = 0,724 - 2,484d + 38,081d^2G - 17,525dG^2; \quad (5)$$

$$R = 0,115 - 0,118L_2 - 0,195d + 0,127L_2d + 0,022L_2^2, \quad (6)$$

где L_2 – относительная длина гнили;
 G – радиус гнили в комле ствола, м;
 d – диаметр ствола, м.

Относительная длина распространения трещин и их количество были приняты согласно данным обследования усыхающего древостоя.

Уравнения, описывающие глубину трещины T_2 и ширину трещины T_w , были приняты по данным С.А. Громыко [6]:

$$T_w = 0,011 - 0,022d + 0,028d^2; \quad (7)$$

$$T_2 = 0,043 + 0,057d - 0,028d^2. \quad (8)$$

Для моделирования трещин дополнительно введены два параметра для каждой из трещин – a (расстояние от начала трещины до комлевого сечения ствола) и b (угол от 0 до 360°, характеризующий расположение трещины на поперечном сечении ствола). Оба этих параметра приняты как случайные независимые величины.

Основным сортообразующим пороков здорового хвойного пиловочного сырья являются сучки, встречаемость которых в достаточном для сортообразования количестве в еловом пиловочнике Архангельской области составляет 63,9% [17]. Для описания встречаемости сучков и их размерных характеристик применяли данные [17].

При реализации модели сухостойного хлыста использовались экспериментальные данные, полученные при обследовании усыхающего древостоя, теоретические и практические данные о природе распространения пороков по длине хлыста и геометрических характеристиках ствола ели обыкновенной. Расчетная схема модели сухостойного хлыста представлена на рис. 2.

В настоящей статье описана математическая модель хлыста, полученного из ствола сухостойной или усыхающей ели обыкновенной, произрастающей на территории Архангельской области и описывающей его основные сортовые характеристики. Отличие данной модели от существующих заключается в описании не

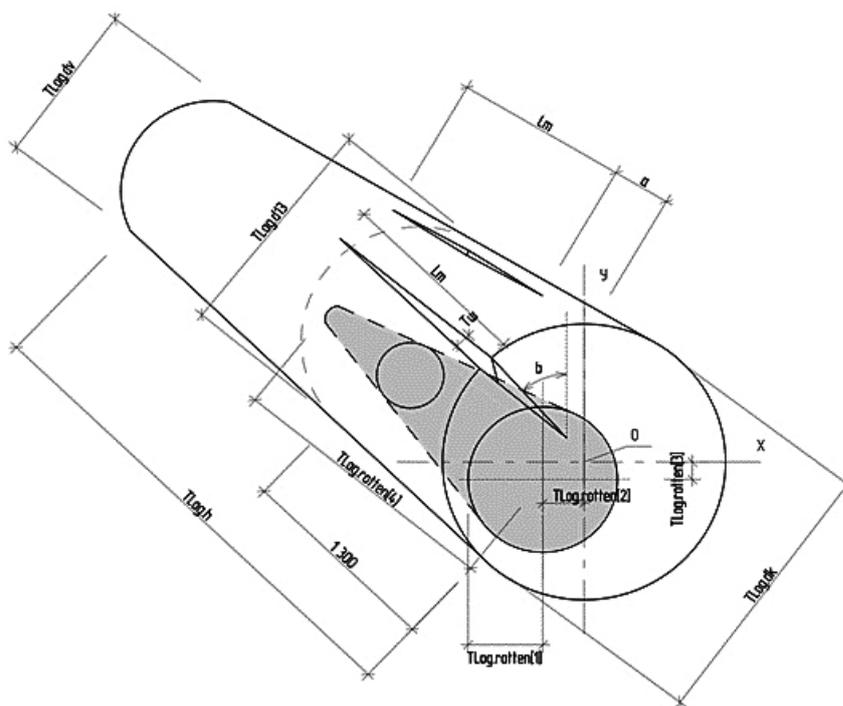


Рис. 2. Расчетная схема модели сухостоинного хлыста:

TLog.d13 – диаметр хлыста в сечении, удаленном на 1,3 м от комля ствола без коры; TLog.h – длина хлыста; TLog.dv – диаметр хлыста в вершинном сечении; TLog.rotten[1] – радиус гнили в комле ствола; TLog.rotten[2], TLog.rotten[3] – соответственно, параметры x и y , характеризующие расположение гнили на поперечном комлевом сечении хлыста; TLog.rotten[4] – протяженность гнили по длине хлыста; Lt, Tш – соответственно, длина и ширина трещин

только геометрических характеристик хлыста, но также и основных сортообразующих пороков (наличие или отсутствие порока в хлысте, размерно-количественные характеристики). Описанную модель в дальнейшем можно использовать для оценки объемного и сортового выхода пиломатериала из древостоя, анализа эффективных схем раскряжевки, раскромки и других целей.

Практическая реализация модели осуществлена в виде программы для ПК [18], позволяющей генерировать неограниченное количество хлыстов с заданными пользователем начальными параметрами, а также производить их дальнейший анализ на основании действующих нормативов на круглые лесоматериалы. В качестве примера работы программы приведем решение задачи по оценке сортового выхода лесоматериалов в усыхающем древостое.

Условие задачи: предполагаемый к оценке древостой усыхает несколько лет. Средний диаметр деревьев в древостое – 22 см. Необходимо определить сортовой выход лесоматериалов при его разработке.

Решение:

1. В конфигурационном файле MUD.pas необходимо раскомментировать строку с номером 81 и задать для параметра log1.d13 значение 22. В противном случае диаметр ствола будет определен при помощи генератора случайных чисел и закона распределения (2).
2. Компиляция файла MUD.pas в среде Pascal.
3. Запуск MUD.exe
4. В начальном меню необходимо выбрать второй пункт – «Посортная экспертиза партии хлыстов».

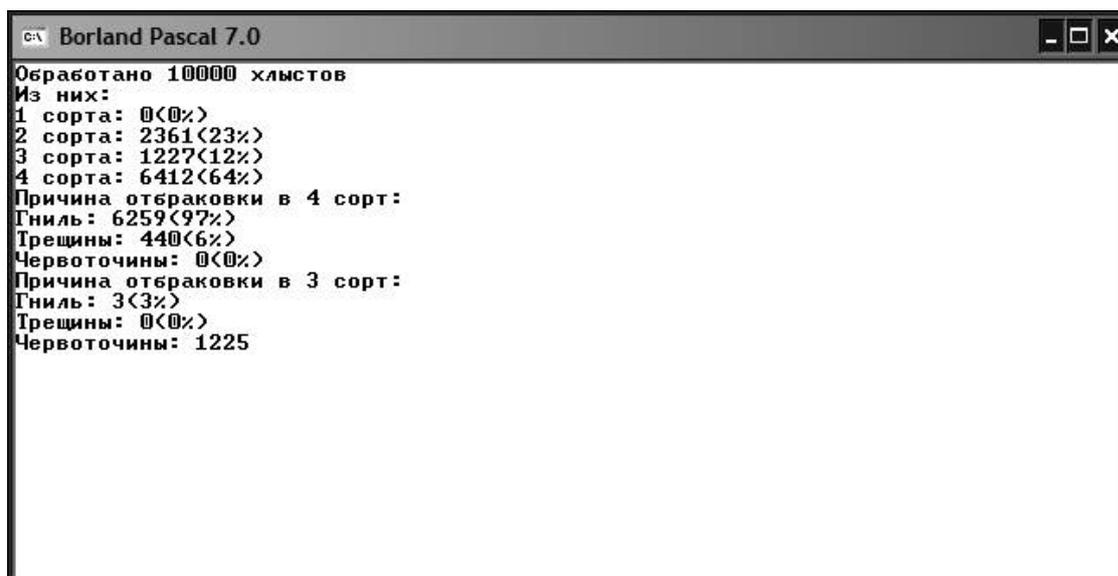


Рис. 3. Интерфейс авторской программы с решенной задачей (к 4 сорту относились хлысты, не отвечающие требованиям ГОСТ 8486-98)

5. «Требуемое количество хлыстов» – для минимизации погрешности следует вводить число не менее 10000.
6. «Категория древостоя» – согласно условию задачи – 2 (СПЛ, сухойстой прошлых лет).
7. Решение задачи. Окно программы с решенной задачей приведено на рис. 3.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Беляева Н.В.* Биологические основы лесного хозяйства: практикум / Н.В. Беляева, О.И. Григорьева. СПб.: СПбГЛТА, 2010. 128 с.
2. *Горшин С.Н.* Главнейшие гнили хвойных деревьев и их откряжевка / С.Н. Горшин. М.: ГЛТИ, 1935. 80 с.
3. ГОСТ 16483.0-89. Древесина. Общие требования к физико-механическим испытаниям. Взамен ГОСТ 16483.0-78; введ. с 01.07.90. М.: Изд-во стандартов, 1989. 13 с.
4. ГОСТ 2140-81. Пороки древесины. Классификация, термины и определения, способы измерения. Взамен ГОСТ 2140-71; введ. с 01.01.82. М.: Изд-во стандартов, 1982. 111 с.
5. ГОСТ 9463-88. Лесоматериалы круглые хвойных пород. Технические условия. Взамен ГОСТ 9463-72; введ. с 01.01.91. М.: Изд-во стандартов, 1991. 13 с.
6. *Громько С.А.* Лесоводственные и эксплуатационные основы использования усыхающих и поврежденных пожарами елово-пихтовых древостоев Дальнего Востока: дисс. канд. с.-х. наук: 06.03.03 / С.А. Громько. Хабаровск, 2004. 184 с.
7. *Захарьин Г.И.* О качественных характеристиках комбинированного пиловочника / Г.И. Захарьин, Г.С. Нушкарев // Комплексное использование древесного сырья: сб. науч. тр. Архангельск. 1979. С. 78–80.
8. *Леонов Д.С.* Об экспедиционных обследованиях ФГУ «Российский центр защиты леса» на территории Архангельской области // Усыхающие ельники Архангельской области, проблемы и пути их решения. Сборник. Архангельск, 2007. С. 53–55.
9. *Лямцев Н.Н.* Усыхание ельников в Архангельской области и комплекс мероприятий по их оздоровлению / Н.Н. Лямцев, А.Д. Маслов, Б.С. Денисов // Там же. С. 81–84.
10. *Неволин О.А.* К истории вопроса усыхания ельников в междуречье Северной Двины и Пинеги / О.А. Неволин, С.В. Третьяков, С.В. Торхов // Там же. С. 85–98.
11. *Петровский В.С.* Исследования образующей древесных стволов / В.С. Петровский // М.: Лесное хозяйство. 1964. № 9. С. 10–11.
12. Санитарные правила в лесах РФ // Экологическое право. Сборник нормативных актов. Вып. 2. М., 1994.
13. *Сергеев П.Н.* Лесная таксация / П.Н. Сергеев. М.: Гослестехиздат, 1953. 332 с.

14. Сухих А.Н. Анализ возможности получения радиальных пиломатериалов из перестойных древостоев сосны и лиственницы в лесосырьевых базах Среднего Приангарья / А.Н. Сухих // ГОУВПО «БрГТУ», г. Братск, РФ [Электронный ресурс]: режим доступа: http://science-bsea.bgita.ru/2003/leskomp_2003/suhih.htm.

15. Тузов В.К. Прогнозирование усыхания еловых насаждений / В.К. Тузов // Усыхающие ельники Архангельской области, проблемы и пути их решения. Сборник. Архангельск, 2007. С. 12–19

16. Чупров Н.П. К проблеме усыхания ельников в лесах европейского севера России / Н.П. Чупров // Там же. С. 66–71.

17. Шалаев В.С. Размерно-качественные особенности древесины ели и выработка из нее пиломатериалов повышенной сортности: дисс. ... канд. техн. наук: 05.21.05 / В.С. Шалаев. М., 1984. 245 с.

18. «Моделирование усыхающих еловых древостоев Архангельской области и анализ их сортового состава». Программа для ПК / И.Н. Беляев // [электронный ресурс]: режим доступа: code.google.com/p/adssm/.

Поступила 22.11.11

V.S. Morozov, I.N. Belyaev

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

Evaluation and modeling of dehumidificated dying Spruce trees characteristics at Arkhangelsk Region

A mathematical model describing the basic features of logs produced from a stem of a dying by dehumidification Spruce (*Picea Abies*) tree at Arkhangelsk Region has been developed.

Key words: spruce (*Picea Abies*), dying tree, modeling, grade, logging.



МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 621.311

С.П. Агеев¹, Р.В. Дерягин², А.М. Копейкин³, Н.И. Богданович³

¹ Филиал «Севмашвтуз» Санкт-Петербургского государственного морского технического университета

² Вологодский государственный университет

³ Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

Агеев Сергей Петрович родился в 1957 г., окончил в 1979 г. Архангельский лесотехнический институт имени В.В. Куйбышева, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизированных систем технической подготовки производства филиала «Севмашвтуз» СПбГМТУ. Имеет более 50 научных работ в области электроснабжения промышленных предприятий.
Тел.: 8(8182) 20-03-57



Дерягин Руслан Валентинович родился в 1939 г., в 1963 г. окончил Архангельский лесотехнический институт имени В.В. Куйбышева, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теории и проектирования машин и механизмов Вологодского государственного университета. Имеет более 130 печатных работ в области динамики машин и оборудования деревообрабатывающей промышленности, металлургического оборудования, современных проблем технологии деревообработки.
E-mail: tpmm@mh.vstu.edu.ru



Копейкин Адольф Михайлович родился в 1936 г., окончил в 1959 г. Архангельский лесотехнический институт имени В.В. Куйбышева, доктор технических наук, профессор кафедры лесопильно-строгальных производств Северного (Арктического) федерального университета, заслуженный работник лесной промышленности РФ. Имеет более 100 научных трудов в области прогнозирования, технологии лесопиления и деревообработки.
Тел.: 8(8182) 21-61-66



Богданович Николай Иванович родился в 1943 г., окончил в 1969 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой лесохимических производств Северного (Арктического) федерального университета, заслуженный работник высшей школы РФ. Имеет более 320 печатных трудов в области изучения пиролиза древесины и отходов ее химической и механической переработки с получением адсорбентов для очистки сточных вод и газовых выбросов, а также адсорбционных методов очистки сточных вод и переработки осадков.
Тел.: (8182) 21-89-46



ВЕРОЯТНОСТНОЕ ОПИСАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭНЕРГОИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛЕСОПИЛЬНЫХ РАМ

Установлены вероятностные законы распределения энергетических показателей работы лесопильных рам, а также выявлены факторы, влияющие на характер изменения этих показателей.

Ключевые слова: лесопильная рама, эффективное время распиловки бревен, производительность, потребляемая мощность, удельный расход электроэнергии, плотность распределения вероятностей, математическое ожидание, дисперсия случайной величины.

Как известно, характер потребления электроэнергии промышленным предприятием в целом определяется характером потребления ее отдельными механизмами, который, в свою очередь, зависит от режима протекания технологического процесса. Производство пилопродукции является сложным технологическим процессом и осуществляется на специализированном оборудовании с большим элек-

тропотреблением по различным технологиям. Энергозатраты на производство единицы пилопродукции иногда необоснованно завышены и могут существенно отличаться от нормативных. Не принимается во внимание функциональная связь между технологическим режимом оборудования и удельным электропотреблением. Следует отметить, что большая часть пиломатериалов вырабатывается с применением лесопильных рам (до 82–86%), существенно меньшая с использованием фрезернопильных агрегатов, круглопильных и ленточнопильных станков. Проблема повышения энергоэффективности лесопильного производства может быть решена при комплексном рассмотрении и оптимизации технологической и энергетической составляющих производственного процесса [1].

Характерной особенностью процессов деревообработки является то, что в них постоянно проявляется воздействие различных случайных факторов. Поэтому для более полного изучения основных закономерностей функционирования производственных процессов на деревообрабатывающих предприятиях необходимо рассматривать эти процессы как разновидности случайных процессов [2].

Одним из наиболее энергоемких цехов лесопильно-деревообрабатывающих комбинатов является лесопильное производство. В работе [3] была предложена математическая модель нагружения механизма главного привода лесопильной рамы. Согласно этой модели лесопильная рама (ЛР) рассматривается как система массового обслуживания (СМО). Работа такой СМО характеризуется временем, которое затрачивается на обслуживание одной заявки. В общем случае это время является случайной величиной, распределенной по закону Эрланга. Для анализа продолжительности распиловки отдельных бревен был использован метод этапов, согласно которому распиловка отдельных бревен рассматривается как случайный марковский процесс, состоящий из ряда этапов (стадий).

В настоящей работе проводится анализ взаимосвязей показателей режима работы лесопильных рам, а также нахождение законов распределения и числовых характеристик этих показателей как случайных величин. Для целей анализа электропотребления к числу таких показателей следует отнести:

- эффективное время $T_{\text{э}}$ распиловки сортировочной группы бревен;
- среднечасовая производительность $A_{\text{э}}$ за эффективное время;
- среднечасовая потребляемая мощность $P_{\text{э}}$ за эффективное время;
- удельный расход электроэнергии $d_{\text{э}}$ за эффективное время.

Определим закон распределения вероятностей эффективного времени распиловки одной сортировочной группы бревен в течение рабочей смены. Так как все бревна одной сортировочной группы однотипны и время распиловки одного из них не зависит от времени распиловки другого, то длительность распиловки всей группы из n бревен

$$T_{\text{э}} = \tau_{\text{э}1} + \tau_{\text{э}2} + \dots + \tau_{\text{э}n},$$

где $\tau_{\text{э}1}, \tau_{\text{э}2}, \dots, \tau_{\text{э}n}$ – длительности распиловки первого, второго и т.д. бревен.

Таким образом, время $T_{\text{э}}$ также является непрерывной случайной величиной.

Следует отметить, что математической моделью распиловки отдельных бревен является случайный марковский процесс, заключающийся в последовательном выполнении k стадий, продолжительность которых распределена согласно показательному закону с параметром λ [4]. Напротив, процесс распиловки группы бревен не является марковским, т.к. продолжительность распиловки каждого бревна распределена по закону Эрланга. Однако, если процесс распиловки сортировочной группы бревен рассматривать как последовательное выполнение kn стадий, то в этом случае он также будет марковским. Тогда плотность распределения вероятностей времени $T_{\text{э}}$ можно найти, используя преобразование Лапла-

са для вычисления свертки n функций-оригиналов, распределенных по закону Эрланга. В этом случае функции-оригиналу $f_{\text{Э}}(t)$ будет соответствовать изображение показательного распределения в kn -й степени:

$$f_{\text{Э}}(t) \rightarrow \frac{\lambda^{kn}}{(\lambda - j\nu)^{kn}}, \quad (1)$$

где j – мнимая единица, $j = \sqrt{-1}$;
 ν – параметр характеристической функции;
 λ – параметр распределения Эрланга.

Осуществив обратное преобразование Лапласа, находим плотность распределения вероятностей времени $T_{\text{Э}}$:

$$f_{\text{Э}}(t) = \lambda \frac{(\lambda t)^{kn-1}}{(kn-1)!} e^{-\lambda t}. \quad (2)$$

Таким образом, эффективное время распиловки партии из n бревен имеет распределение Эрланга kn -го порядка с тем же параметром λ , что и распределение времени $\tau_{\text{Э}}$ распиловки одного бревна.

Воспользовавшись формулой (2), определим математическое ожидание времени эффективной работы ЛР:

$$MT_{\text{Э}} = \int_0^{\infty} t f_{\text{Э}}(t) dt = \frac{\lambda^{kn}}{(kn-1)!} \int_0^{\infty} t^{kn} e^{-\lambda t} dt.$$

Вычисляя интеграл методом интегрирования по частям, получим

$$MT_{\text{Э}} = \frac{\lambda^{kn}}{(kn-1)!} \frac{(kn)!}{\lambda^{kn+1}} = \frac{kn}{\lambda} = n\bar{\tau}_{\text{Э}}, \quad (3)$$

где $\bar{\tau}_{\text{Э}}$ – среднее время распиловки одного бревна, с.

Дисперсия времени эффективной работы

$$DT_{\text{Э}} = \int_0^{\infty} (t - MT_{\text{Э}})^2 f_{\text{Э}}(t) dt = \int_0^{\infty} t^2 f_{\text{Э}}(t) dt - (MT_{\text{Э}})^2 = \frac{\lambda^{kn}}{(kn-1)!} \int_0^{\infty} t^{kn+1} e^{-\lambda t} dt - \frac{(kn)^2}{\lambda^2}$$

или

$$DT_{\text{Э}} = \frac{\lambda^{kn}}{(kn-1)!} \frac{(kn+1)!}{\lambda^{kn+2}} - \frac{(kn)^2}{\lambda^2} = \frac{kn}{\lambda} = nD\tau_{\text{Э}}, \quad (4)$$

где $D\tau_{\text{Э}} = \frac{k}{\lambda}$ – дисперсия времени распиловки одного бревна.

Среднечасовая производительность $A_{\text{Э}}$ ЛР за время $T_{\text{Э}}$ может быть вычислена по формуле

$$A_{\text{Э}} = \frac{Z}{T_{\text{Э}}}, \quad (5)$$

где Z – объем сортировочной группы бревен, распиленных за время $T_{\text{Э}}$, m^3 .

Из (5) следует, что при заданном объеме Z группы бревен среднечасовая производительность $A_{\text{Э}}$ является функцией случайной величины $T_{\text{Э}}$, т.е. $A_{\text{Э}} = \Phi(T_{\text{Э}})$, а, следовательно, сама является случайной величиной.

Согласно [5] плотность распределения вероятностей величины $A_{\text{Э}}$ определяется как

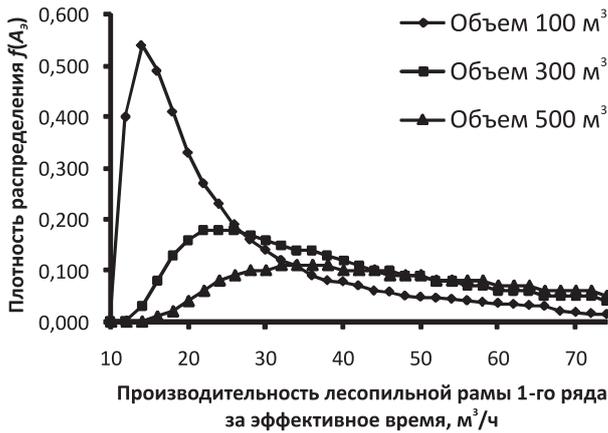
$$g(a_3) = f(\psi(a_3))|\psi'(a_3)|, \quad (6)$$

где $\psi(a_3)$ – функция, обратная функции $\varphi(T_3)$.

Выполняя необходимые преобразования согласно (6) с учетом (2), получим

$$g(a_3) = \frac{1}{a_3 \Gamma(kn)} \left(\lambda \frac{Z}{a_3} \right)^{kn} \exp\left(-\lambda \frac{Z}{a_3}\right). \quad (7)$$

Выражение (7) определяет случайную величину A_3 , распределенную согласно



обратному распределению Эрланга [6]. Из этого выражения следует, что плотность распределения производительности зависит от объема партии бревен, их количества, а также от параметра λ .

На рис. 1 показаны графики плотности распределения среднечасовой производительности A_3 , вычисленные для различных объемов партии бревен диаметром 20 см.

Математическое ожидание производительности может быть найдено как математическое ожидание функции от случайной величины T_3 по формуле [5]

Рис. 1. Кривые плотности распределения среднечасовой производительности лесопильной рамы за эффективное время

$$MA_3 = \int_0^{\infty} a_3(t) f_3(t) dt = \frac{Z\lambda^{kn}}{(kn-1)!} \int_0^{\infty} t^{kn-2} e^{-\lambda t} dt = \frac{Z\lambda}{kn-1} = \frac{Z}{MT_3} \frac{kn}{kn-1}.$$

Аналогично дисперсия производительности

$$DA_3 = \int_0^{\infty} a_3^2(t) f_3(t) dt - (MA_3)^2 = \frac{Z^2 \lambda^{kn}}{(kn-1)!} \int_0^{\infty} t^{kn-3} e^{-\lambda t} dt - \left(\frac{Z\lambda}{kn-1} \right)^2 = \frac{(Z\lambda)^2}{(kn-1)^2 (kn-2)}$$

или

$$DA_3 = \frac{Z^2}{DT_3} \frac{kn}{(kn-1)^2 (kn-2)}.$$

Определим связь числовых характеристик производительности со средним временем распиловки одного бревна. Тогда с учетом (3) получим

$$MA_3 = \frac{Z}{\bar{\tau}_3} \frac{k}{kn-1} \quad \text{и} \quad DA_3 = \frac{Z^2}{\bar{\tau}_3^2} \frac{k^2}{(kn-1)^2 (kn-2)}.$$

Среднее время распиловки одного бревна для каждого постава может быть найдено по формуле [7]

$$\bar{\tau}_3 = \frac{100L}{6\Delta_p n},$$

где L – длина бревен, m ;

Δ_p – расчетная посылка, mm ;

n – частота вращения вала рамы, $об/мин$.

В работе [8] получено выражение энергетической характеристики механизма резания лесопильной рамы:

$$P_{\text{э}} = P_{\text{пост}} + c\sqrt{A_{\text{э}}} = P_{\text{пост}} + c\sqrt{\frac{Z}{T_{\text{э}}}}, \quad (8)$$

где $P_{\text{э}}$ – среднечасовая мощность, потребляемая двигателем механизма резания за время $T_{\text{э}}$, кВт;

$P_{\text{пост}}$ – мощность постоянных потерь электроэнергии в двигателе, кВт;

c – коэффициент энергоемкости ЛР, кВт·ч^{0,5}/М^{1,5}.

Из (8) следует, что средняя потребляемая мощность $P_{\text{э}}$ является случайной величиной. Выполняя аналогичные (6) преобразования, получим выражение для плотности распределения вероятностей среднечасовой потребляемой мощности:

$$q(P_{\text{э}}) = \frac{2}{\Gamma(kn)} \frac{b^{kn}}{(P_{\text{э}} - P_{\text{пост}})^{2kn+1}} \exp(-b/(P_{\text{э}} - P_{\text{пост}})^2), \quad (9)$$

где $b = \lambda c^2 Z$ – постоянный (при заданных условиях) множитель.

На рис. 2 показаны кривые плотности распределения вероятностей среднечасовой потребляемой мощности лесопильной рамы 2Р75-1, соответствующие различным объемам бревен в сортировочной партии. Из графиков следует, что с увеличением объема Z партии бревен наиболее вероятные значения средней потребляемой мощности возрастают. При этом анализ графиков показывает, что наиболее вероятные значения потребляемой мощности соответствуют низким значениям энергетического коэффициента загрузки ЛР, что приводит к повышению удельного расхода электроэнергии.



Рис. 2. Плотности распределения вероятностей среднечасовой потребляемой мощности лесопильной рамы 1-го ряда

Математическое ожидание среднечасовой потребляемой мощности:

$$\begin{aligned} MP_{\text{э}} &= \int_0^{\infty} (P_{\text{пост}} + c\sqrt{\frac{Z}{t}}) f_{\text{э}}(t) dt = P_{\text{пост}} + \frac{c\sqrt{Z}\lambda^{kn}}{(kn-1)!} \int_0^{\infty} t^{kn-1} e^{-\lambda t} dt = \\ &= P_{\text{пост}} + c\sqrt{\lambda Z} \frac{\Gamma(kn-0,5)}{\Gamma(kn)} \end{aligned}$$

или

$$MP_{\text{э}} = P_{\text{пост}} + c\sqrt{(kn-1)MA_{\text{э}}} \frac{\Gamma(kn-0,5)}{\Gamma(kn)}.$$

Полученная формула позволяет по заданному объему распиливаемых бревен определить ожидаемые значения среднечасовой потребляемой мощности и электроэнергии за время $T_{\text{э}}$ двигателем главного привода лесопильной рамы.

Аналогично дисперсия среднечасовой потребляемой мощности

$$DP_{\text{э}} = c^2 \lambda Z \left[\frac{\Gamma(kn-1)}{\Gamma(kn)} - \frac{\Gamma^2(kn-0,5)}{\Gamma^2(kn)} \right] = c^2 MA_{\text{э}} \left[1 - \frac{\Gamma^2(kn-0,5)}{\Gamma(kn)\Gamma(kn-1)} \right].$$

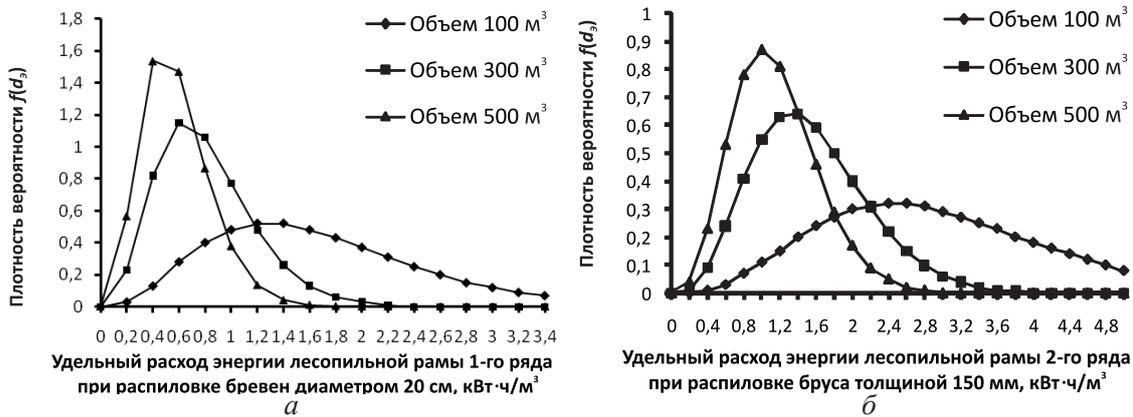


Рис. 3. Плотность распределения вероятностей удельного расхода электроэнергии лесопильной рамы 1-го (а) и 2-го (б) ряда

Среднее значение удельного расхода электроэнергии

$$d_{\text{э}} = \frac{P_{\text{э}}}{A_{\text{э}}} = \frac{P_{\text{пост}}}{A_{\text{э}}} + \frac{c}{\sqrt{A_{\text{э}}}}$$

или с учетом (5)

$$d_{\text{э}} = \frac{P_{\text{пост}}}{Z} T_{\text{э}} + \frac{c}{\sqrt{Z}} \sqrt{T_{\text{э}}}. \quad (10)$$

Из (10) следует, что удельный расход $d_{\text{э}}$ является случайной величиной. Выполняя аналогичные (6) преобразования, получим выражение для плотности распределения вероятностей удельного расхода электроэнергии:

$$g(d_{\text{э}}) = \frac{\lambda^{kn}}{\Gamma(kn)} (m^2)^{kn-1} \frac{Z}{P_{\text{пост}}} \left(1 - \frac{c}{2\sqrt{P_{\text{пост}}d_{\text{э}} + (c/2)^2}} \right) \exp(-\lambda m^2),$$

$$\text{где } m^2 = \left(\sqrt{\frac{Zd_{\text{э}}}{P_{\text{пост}}} + \frac{c^2 Z}{4P_{\text{пост}}^2}} - \frac{c\sqrt{Z}}{2P_{\text{пост}}} \right).$$

На рис. 3, а, б показаны кривые плотности распределения вероятностей полного удельного расхода электроэнергии лесопильной рамы 2P75-1 при распиловке бревен диаметром 20 см и лесопильной рамы 2P75-2 при распиловке брусьев толщиной 150 мм. Указанные кривые соответствуют различным объемам бревен в сортировочной партии. Из графиков следует, что с увеличением объема Z партии бревен наиболее вероятные значения удельного расхода уменьшаются, а графики кривых сужаются, что свидетельствует о стабилизации удельного расхода электроэнергии в области низких значений.

Математическое ожидание полного удельного расхода

$$Md_{\text{э}} = \int_0^{\infty} \left(\frac{P_{\text{пост}}}{Z} t + \frac{c}{\sqrt{Z}} \sqrt{t} \right) f_{\text{э}}(t) dt = \frac{P_{\text{пост}}}{Z} \int_0^{\infty} t f_{\text{э}}(t) dt + \frac{c}{\sqrt{Z}} \int_0^{\infty} \sqrt{t} f_{\text{э}}(t) dt$$

или с учетом (2) после преобразований

$$Md_{\text{э}} = \frac{P_{\text{пост}}}{Z} MT_{\text{э}} + \frac{c}{\sqrt{Zkn}} \sqrt{MT_{\text{э}}} \frac{\Gamma(kn + 0,5)}{\Gamma(kn)}. \quad (11)$$

Дисперсия полного удельного расхода электроэнергии

$$D(d_3) = \frac{P_{\text{пост}}^2}{Z^2} DT_3 + \frac{c^2}{Z} MT_3 + \frac{c(kn-1)}{MA_3} \left[\frac{P_{\text{пост}}}{\sqrt{\lambda Z}} \frac{\Gamma(kn+0,5)}{\Gamma(kn)} - c \frac{\Gamma^2(kn+0,5)}{\Gamma^2(kn)} \right]. \quad (12)$$

Из формул (11) и (12) видно, что с увеличением объема Z партии бревен полный удельный расход электроэнергии становится все более неслучайной величиной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агеев С.П. Повышение энергетической эффективности производства пилопродукции / С.П. Агеев: автореф. дисс. ... док. техн. наук. Архангельск, 2011. 37 с.
2. Агеев С.П. Вероятностная модель производственного процесса лесопильного цеха / С.П. Агеев, В.И. Мелехов // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: мат. междунар. научно-техн. конф. 8–10 декабря 2009 г. Вологда, 2010. С. 91–93.
3. Агеев С.П. Математическое моделирование процессов распиловки древесины // Известия СПбЛТА. Вып. 179. СПб.: ЛТА, 2007. С. 147–153.
4. Агеев С.П. Закономерности распределения длительности рабочих циклов лесопильных рам // Известия СПбЛТА. Вып. 180. СПб.: ЛТА, 2007. С. 203–208.
5. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения: учеб. пособие для вузов. М.: Высш. шк., 2000. 480 с.
6. Гастингс Н., Пикок Дж. Справочник по статистическим распределениям. М.: Статистика, 1980. 250 с.
7. Рыкунин С.Н., Тюкина Ю.П., Шалаев В.С. Технология лесопильно-деревообрабатывающих производств: учебное пособие для студентов. М.: МГУЛ, 2003. 225 с.
8. Агеев С.П. Энергетическая характеристика электропривода механизма резания лесопильной рамы // ИВУЗ, Лесной журнал. 2009. № 2. С. 96–101.

Поступила 16.04.11

S.P. Ageev¹, R.V. Deryagin², A.M. Kopeykin³, N.I. Bogdanovich³

¹ Saint-Petersburg State Maritime Technical University, Severodvinsk branch

² Vologda State University

³ Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

Probabilistic description of the gang-sawing machines energy consumption factors

Probability laws of energetic coefficients dispensing of gang-sawing machines have been derived. Factors of coefficients variations are disclosed.

Key words: gang-sawing machine, log sawing active time, productivity, power consumption, relative energy demand, probability density function, arithmetical mean, random variance.

УДК 630*839

О.Д. Мюллер¹, В.И. Малыгин¹, В.К. Любов²

¹ Филиал «Севмашвтуз» Санкт-Петербургского государственного морского технического университета

² Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

Мюллер Оскар Давыдович родился в 1948 г., окончил в 1973 г. Ленинградский политехнический институт им. М.И. Калинина, кандидат технических наук, доцент кафедры океанотехники и энергетических установок филиала «Севмашвтуз» С.-Петербургского государственного морского технического университета. Имеет более 50 печатных работ в области повышения энергоэффективности использования древесного сырья.

E-mail: ockar@mail.ru



Малыгин Владимир Иванович родился в 1952 г., окончил в 1979 г. Университет Дружбы народов им. П. Лумумбы, доктор технических наук, профессор, действительный член АИН РФ, проректор по научной работе филиала «Севмашвтуз» С.-Петербургского государственного морского технического университета. Имеет более 180 научных работ в области математического моделирования физических процессов при резании.

Тел.: 8(818) 458-07-89



Любов Виктор Константинович родился в 1954 г., окончил в 1976 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой промышленной теплоэнергетики Северного (Арктического) федерального университета, почетный работник высшего профессионального образования РФ. Имеет более 180 публикаций в области теплоэнергетики.

Тел.: 8(8182) 21-61-75



ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДРЕВЕСНЫХ ГРАНУЛ

Разработана математическая модель и проанализировано влияние некоторых конструктивных параметров технологического оборудования на качество древесных гранул.

Ключевые слова: вторичные топливно-энергетические ресурсы, некондиционные отходы лесопромышленного комплекса, биотопливо, котлы, древесная мука, пресс-гранулятор, матрица, фильера, энергетический потенциал, эффективность.

Архангельская область является одним из крупнейших в Европе производителем лесной продукции, а, соответственно, обладает и большими запасами некондиционных отходов лесопромышленного комплекса. Данные отходы являются вторичными топливно-энергетическими ресурсами, однако иногда не находят применения и вывозятся на свалки и в отвалы, где, разлагаясь, наносят существенный вред окружающей среде. Поэтому с экологической и экономической точек зрения наиболее целесообразно их использование в качестве энергетического топлива. Наиболее развитой технологией энергетического использования древесных отходов является их сжигание в топках котлоагрегатов с получением тепловой энергии. Однако при реализации данной технологии возникает ряд проблем, связанных как с высокой влажностью древесного топлива, значительно уменьшающей его тепловую ценность, ухудшающей процесс горения и снижающей экономические показатели работы котлов в целом, так и с неоднородным гранулометрическим составом. Поэтому для обеспечения эффективного сжигания древесного топлива вводятся ограничения по его влажности, что требует дополнительных

технологических процессов, инвестиций, производственных и складских площадей, немалых затрат энергии. Низкая энергетическая плотность древесного топлива вызывает проблему, связанную со складированием большого количества топлива. Помимо необходимости больших складских площадей, свежие опилки и щепа при хранении порой самовоспламеняются. Ввиду малой энергоемкости и низкой насыпной плотности древесных отходов технология их прямого сжигания в теплогенерирующих установках является экономически выгодной, если плечо доставки древесного топлива до места его утилизации не превышает 50 км.

Для повышения энергетической ценности древесных отходов и увеличения их насыпной плотности в конце прошлого века была разработана технология гранулирования древесного топлива, которая на сегодняшний день является одной из самых перспективных. Стремительное развитие производства древесных гранул получило в Канаде, Скандинавских странах, Дании, Германии и др. С начала этого века бурными темпами растет производство древесных гранул и в России. С развитием производства древесных гранул появилось и производство автоматизированных котлов, предназначенных для их сжигания. Технологические процессы, заложенные в этих котлах, предъявляют повышенные требования к качеству произведенных древесных гранул.

Целью настоящего исследования является определение основных параметров технологического оборудования, влияющих на качественные показатели древесных гранул.

Основными показателями качества древесных гранул являются следующие:

- теплотворная способность, определяющая энергетическую ценность древесных гранул;
- зольность, превышение содержания которой выше допустимого уровня может привести к снижению КПД котла и даже к его выходу из строя;
- насыпная плотность, определяющая экономическую привлекательность транспортировки древесных гранул как топлива на значительные расстояния;
- истираемость (массовая доля мелкой фракции – пыли и опилок, которые образуются при транспортировке и хранении древесных гранул); высокая истираемость гранул может быть причиной потерь при обработке груза, снижения насыпной плотности, повышения пожарной опасности, а также снижения КПД котлов и даже выхода дорогостоящего оборудования из строя.

Теплотворная способность древесных гранул зависит от естественных характеристик древесного сырья, его состояния, зольности и влажности древесных гранул.

Зольность древесных гранул не может быть ниже естественной зольности древесины из которой они изготовлены. Фактическая зольность древесных гранул несколько превышает зольность древесного сырья, наиболее распространенными причинами этого эффекта являются:

- загрязнения минерального происхождения (песок, содержащийся в коре; грунт, песок, пыль, попадающие в древесину в процессе транспортировки, хранения, переработки и т.д.);
- термическое воздействие и загрязнение сырья в процессе сушки;
- гниль, плесень, грибок и другие виды порчи древесины.

Относительная влажность топливных гранул обычно составляет 6...12%. Снижение влажности происходит в сушилках на этапе подготовки древесного сырья к гранулированию. Превышение влажности нежелательно по ряду причин, среди которых основными являются:

- опасность разрушения гранул;
- снижение КПД теплогенерирующих установок;
- удорожание транспортировки в больших объемах.

Истираемость (прочность гранул), также как и насыпная плотность, зависит от технологических процессов прессования и таких факторов как:

- используемое сырье (например, гранулы из древесины с большей долей лигнина при прочих равных условиях прочнее);
- размер частиц в составе гранулы (если фракция слишком мала или слишком велика прочность гранул снижается);
- влажность исходного сырья и гранул (если относительная влажность выше 12% или ниже 6%, скорее всего гранулы будут непрочными);
- состояние и качество наладки пресса-гранулятора, матрицы и роликов;
- конструктивные особенности и качество матрицы.

Технология гранулирования довольно широко известна и используется во всем мире. Технологический процесс получения древесных гранул состоит из следующих этапов:

- предварительное измельчение исходного древесного сырья;
- сушка измельченной древесины до влажности 8...12%;
- измельчение высушенной древесины до размеров частиц не более 1,5 мм;
- прессование высушенной и измельченной древесной массы в пресс-грануляторе;
- охлаждение полученных гранул в охладителе.

Если рассматривать строение древесины под микроскопом, то можно увидеть, что основную ее массу составляют клетки веретенообразной формы, вытянутые вдоль ствола. Некоторое количество клеток вытянуто в горизонтальном направлении, т.е. поперек основных клеток. Таким образом, по структуре древесина представляет собой продольно-слоистое твердое тело с поперечными связями. Вследствие этого, физические свойства древесины в продольном (в направлении роста ствола) и поперечном направлениях сильно различаются.

Из технологического процесса, приведенного ранее, следует, что на выходе из мельницы, после прохождения ее фильтров, частицы древесного сырья не имеют определенной формы и по размерам соизмеримы с составляющими древесину клетками. Кроме того, пространственная ориентация древесных частиц в поступающей на прессование в пресс-гранулятор древесной муке хаотична, вследствие чего исходную массу подготовленного для прессования древесного сырья с достаточной для инженерных расчетов точностью можно считать порошком из частиц шарообразной формы с одинаковыми физическими свойствами по всем направлениям. На основании этого, для поступающей на прессование древесной муки справедливы все основные технологические параметры, которые используются для расчетов процесса прессования порошков. К числу таких параметров относятся:

- угол естественного откоса;
- насыпная плотность;
- сыпучесть;
- уплотняемость;
- адгезия.

Угол естественного откоса α образуется поверхностью конуса свободно насыпанного материала и горизонтальной плоскостью в его основании. Угол естественного откоса является также и углом трения.

Насыпная плотность ρ_0 зависит от плотности исходного материала, его пористости и влажности.

Сыпучесть материала, то есть его способность перемещаться под действием силы тяжести, оценивается временем истечения навески материала через калибро-

ванное отверстие. Чем лучше сыпучесть порошка, тем легче его прокатка, тем более плотной и прочной будет прессовка. На сыпучесть материала существенное влияние оказывают размеры частиц и их влажность.

Уплотняемость – способность вещества к уплотнению под воздействием определенного давления:

$$\Gamma = \frac{\partial(\rho/\rho_0)}{\partial p}, \quad (1)$$

где ρ – плотность исходного материала при давлении p .

Адгезия – явление налипания порошковидных материалов на поверхность валков при прессовании. Адгезионные силы, в первую очередь, оказывают влияние на захват частиц порошкового материала поверхностью прессовочных роликов.

В настоящее время для производства древесных гранул используется принцип формования гранул, заключающийся в продавливании древесной муки при помощи одного или нескольких прижимных валков через перфорированные поверхности. Различают машины для формования гранул бегунами, с продавливанием через перфорации горизонтальной поверхности, так называемые прессы с плоской матрицей (рис. 1, а), и продавливанием через поверхность перфорированного барабана вращающимися прижимными валками, прессы с барабанной матрицей (рис. 1, б).

Прессуемый материал прижимными валками продавливается через отверстия матрицы и на выходе срезается ножами на формовке определенной длины. Процесс получения древесных гранул можно условно разбить на три этапа:

- повышение плотности древесного сырья и давления в клиновом зазоре между цилиндрической поверхностью прессовочного ролика и поверхностью матрицы до плотности спрессованного материала $\rho_{\text{п}}$ и давления прессования $p_{\text{п}}$;
- вырезание гранулы из спрессованного древесного материала, на что расходуется часть достигнутого давления прессования $\Delta p_{\text{ср}}$;
- продавливание вырезанной гранулы через фильеру матрицы, на которое расходуется давление $p_{\text{пр}}$.

Указанные давления связаны между собой уравнением:

$$p_{\text{п}} = \Delta p_{\text{ср}} + p_{\text{пр}}. \quad (2)$$

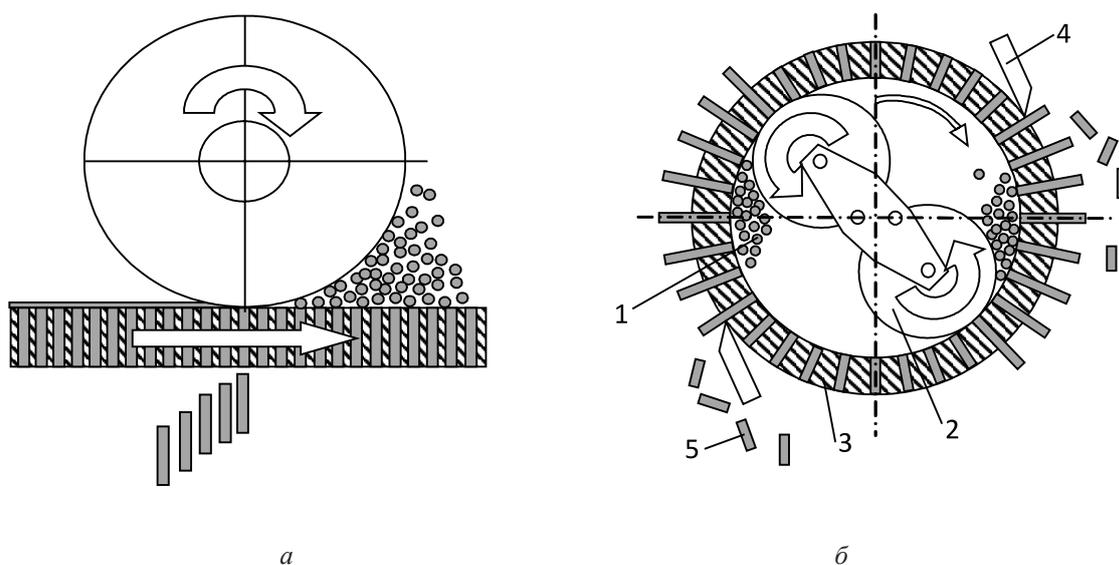


Рис. 1. Пресс-гранулятор: а – с цилиндрической матрицей; б – с барабанной матрицей; 1 – исходное сырье; 2 – прижимные валки; 3 – барабанная матрица, 4 – ножи; 5 – гранулы

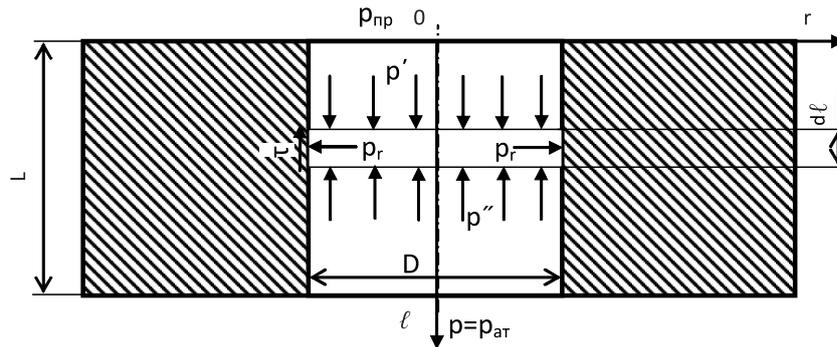


Рис. 2. Расчетная схема по определению проталкивающей силы для гранулированного топлива

Рассмотрим каждый этап по отдельности. Для предварительной оценки давления проталкивания $p_{пр}$ используем следующую модель процесса проталкивания гранулы через матричный канал (фильеру) (рис. 1).

Пусть матрица имеет толщину L и в ней имеется цилиндрическая фильера диаметром D , которая полностью заполнена цилиндрической гранулой. Определим условия, при которых эта гранула будет двигаться по каналу фильеры с постоянной скоростью. Для того чтобы гранула двигалась с постоянной скоростью, необходимо, чтобы сумма всех действующих на нее сил была равна нулю ($\Sigma F = 0$). Так как отверстие матрицы представляет собой цилиндр, то наиболее удобной для проведения анализа будет цилиндрическая система координат. Пусть вдоль оси цилиндра будет ось l и нормальная к ней ось r .

Выделим бесконечно малый цилиндрический элемент гранулы диаметром D и толщиной dl (см. рис. 2). Пусть на верхнюю торцевую поверхность выделенного элемента действует давление p' , а на нижнюю торцевую поверхность – p'' . На боковую цилиндрическую поверхность выделенного элемента действует касательное напряжение трения τ и нормальное давление p_r . Тогда условие равновесия выделенного элемента запишется в следующем виде:

$$\frac{\pi D^2 (p' - p'')}{4} - \pi D \tau dl = 0. \quad (3)$$

После несложных преобразований уравнение приводится к виду

$$-dp = 4\tau \frac{dl}{D}. \quad (4)$$

В первом приближении можно принять, что местные касательные напряжения τ прямо пропорциональны местному нормальному давлению p_r :

$$\tau \sim p_r. \quad (5)$$

Уравнение (5) с учетом физических характеристик поверхностей трения и материала гранул k , запишем в следующем виде:

$$\tau = k p_r. \quad (6)$$

Полученные в процессе прессования древесные гранулы представляют собой твердое упруго-деформируемое тело. При поступлении исходного сырья на вход в фильеру матрицы под воздействием силы давления прессовочного валика происходит уплотнение исходного сырья и пластическая деформация уплотненной массы в цилиндр, т.е. формирование цилиндрической гранулы заканчивается на входе в фильеру. В этом случае развиваемое прессовочным роликом давление на входе в фильеру будет максимальным, которое затем снижается по мере продвижения спрес-

сованной массы по фильере. Так как осевое давление по длине фильеры снижается, то дополнительных пластических деформаций не происходит, а сама гранула по мере продвижения по фильере будет находиться в упруго-напряженном состоянии. Выбор в качестве расчетной модели цилиндрического элемента гранулы наружным диаметром D и бесконечно малой длины $d\ell$ приводит к тому, что перепад давления по длине этого элемента будет малым, упругие деформации будут также малы, вследствие чего упругое состояние этого элемента будет подчиняться закону Гука.

Исходя из указанных выше условий, радиальное давление p_r может быть определено через осевое давление p по зависимости

$$p_r = \varepsilon p, \quad (7)$$

где ε – коэффициент Пуассона.

С учетом (6) и (7) уравнение (4) принимает вид

$$dp = -\frac{4k \varepsilon p}{D} d\ell. \quad (8)$$

После разделения переменных и интегрирования получим

$$p = C \cdot \exp(-4k \varepsilon \ell/D), \quad (9)$$

где C – константа интегрирования.

Для определения константы интегрирования выберем граничное условие: при $\ell = L$ давление на торцевую поверхность $p = p_{\text{ар}}$.

После подстановки граничных условий в уравнение (9) получим

$$C = p_{\text{ар}} \cdot \exp(4k \varepsilon L/D)$$

и уравнение (9) принимает вид

$$p = p_{\text{ар}} \cdot \exp\left(\frac{4k \varepsilon (L - \ell)}{D}\right). \quad (10)$$

Давление проталкивания $p_{\text{пр}}$ составит ($\ell = 0$)

$$p_{\text{пр}} = p_{\text{ар}} \cdot \exp(4k \varepsilon L/D), \quad (11)$$

а сила проталкивания будет определяться по уравнению

$$F_{\text{пр}} = (p_{\text{пр}} - p_{\text{ар}}) \frac{\pi D^2}{4} \quad (12)$$

или с учетом (11)

$$F_{\text{пр}} = \frac{\pi D^2}{4} p_{\text{ар}} \left(\exp\left(\frac{4k\varepsilon L}{D}\right) - 1 \right). \quad (13)$$

Рассмотрим процесс обкатывания прессовочным роликом плоской матрицы, имеющей большое количество формирующих гранулы фильер. Фильеры, как правило, располагаются в шахматном порядке, перегородки между соседними фильерами малы (рис. 3).

Поскольку процесс формирования гранул непрерывный, то все фильеры заполнены спрессованными от предыдущего прохождения обкаточного ролика цилиндрическими гранулами, верхняя торцевая поверхность которых расположена заподлицо с плоской поверхностью матрицы. На матрицу непрерывно поступает исходное древесное сырье, которое образует перед прессовочным роликом слой сырья с насыпной плотностью ρ_0 и с углом естественного откоса α . Такой же слой исходного сырья образуется и за роликом, но это уже будет исходный слой сырья для следующего ролика.

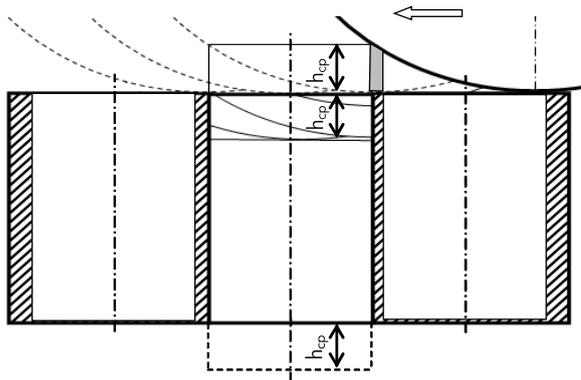


Рис. 3. Схема обкатывания матрицы прессовочным роликом

ным сечением в направлении, обратном перемещению прессовочного ролика.

Достижение давления в слое спрессованного сырья над фильерой давления проталкивания $p_{пр}$ не вызовет движение гранулы в фильере, т.к. над ней будет непрерывная лента спрессованного сырья. Для того, чтобы входная грань фильеры вырубил из этой ленты часть спрессованного материала, необходимо приложить дополнительное усилие, а значит необходимо создать дополнительный перепад давления $\Delta p_{сп}$ над давлением проталкивания $p_{пр}$. Величину этого перепада давления можно определить через напряжение среза $\sigma_{сп}$ для спрессованного материала из зависимости

$$\frac{\pi D^2}{4} \Delta p_{сп} = \pi D h_{сп} \sigma_{сп},$$

где $h_{сп}$ – толщина среза,
или

$$\Delta p_{сп} = \frac{4 h_{сп} \sigma_{сп}}{D}. \quad (14)$$

При прокатке прессовочного ролика по матрице расстояние (толщина спрессованной древесной ленты) между цилиндрической поверхностью и поверхностью матрицы в начале очередного матричного канала по ходу движения прессовочного ролика (см. рис. 3) уменьшается, а плотность спрессованной массы и давление в ней возрастают. При уменьшении толщины спрессованной древесной ленты над входной кромкой фильеры до $h_{сп}$ величина избыточного давления в спрессованной ленте достигнет $p_{н} = \Delta p_{сп} + p_{пр}$. Входная кромка фильеры выполняет роль пуансона, вырезая из спрессованной ленты (по мере накатывания прессовочного ролика на входное отверстие фильеры) цилиндр поперечным сечением $\pi D^2/4$ и высотой $h_{сп}$ и вдавливая его в фильеру. Таким образом, за один проход прессовочного ролика над фильерой будет формироваться гранула с теоретическим объемом:

$$V_{т} = \pi D^2 h_{сп} / 4.$$

Действительный же объем сформированной гранулы будет несколько выше за счет разрушения и вдавливания в матричные каналы материала

При угле $\varphi_{тр} \geq \alpha$ сила давления со стороны обкатывающего ролика на древесную шихту (муку) будет сталкивать сырье, образуя перед собой волну, перемещающую массу сырья с углом естественного откоса α . Начиная с угла $\varphi = \alpha$ (рис. 4) нормальная сила давления со стороны обкаточного ролика совпадет с углом естественного откоса α и с этого момента начнется уплотнение древесной шихты. Исходное сырье будет прессоваться в виде непрерывной ленты с уменьшающимся поперечным

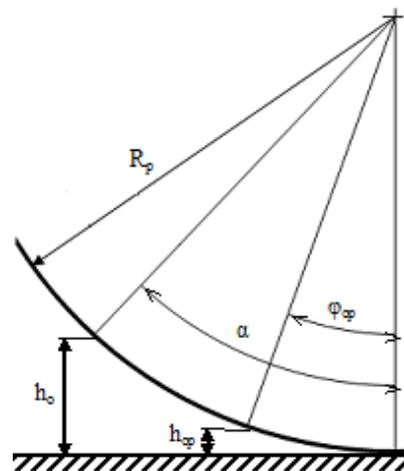


Рис. 4. Схема прессования порошкового сырья

перегородок между отверстиями перфорированной ленты прессованного материала. Если площадь поверхности матрицы, обкатываемой прессовочным роликом равна S_{cp} а количество фильер равно N , то производительность фильеры по сформированной грануле за один проход прессовочного ролика составит:

$$V_1 = S_{cp} h_{cp} / N. \quad (15)$$

Если число прессовочных роликов z , а число оборотов водила роликов в минуту n , то производительность пресса по гранулам составит:

$$V = \frac{\pi n}{30} z S_{cp} h_{cp}. \quad (16)$$

Полное давление формирования древесной гранулы согласно (1), (11) и (14) составит:

$$p_{п} = p_{ат} \exp\left(\frac{4k\epsilon L}{D}\right) + \frac{4h_{cp}\sigma_{cp}}{D}. \quad (17)$$

Если рассматривать массу вещества постоянной, а занимаемый ею объем в виде призмы с постоянным поперечным сечением и переменной высотой, то связь между плотностями вещества и высотой призм определится зависимостью:

$$\frac{\rho_o}{\rho} = \frac{h}{h_o}. \quad (18)$$

Исходя из этого уравнения конечная толщина прессования h_{cp} в зависимости от желаемой плотности древесных гранул $\rho_{п}$ и насыпной плотности исходной древесной массы ρ_o составит (рис. 4):

$$h_{cp} = \frac{\rho_o h_o}{\rho_{п}}. \quad (19)$$

После подстановки зависимости (19) в уравнение (17) получим

$$p_{п} = p_{ат} \exp\left(\frac{4k\epsilon L}{D}\right) + \frac{4\rho_o h_o \sigma_{cp}}{\rho_{п} D}. \quad (20)$$

Исходя из рис. 4 можно записать

$$h_o = R_r (1 - \cos\alpha), \quad (21)$$

где R_r – радиус прессовочного ролика.

С учетом (21) уравнение (20) примет вид

$$p_{п} = p_{ат} \exp\left(\frac{4k\epsilon L}{D}\right) + \frac{4\rho_o R_r (1 - \cos\alpha) \sigma_{cp}}{\rho_{п} D}. \quad (22)$$

Все порошковые материалы характеризуются коэффициентом уплотняемости (1), который обычно представляют в виде зависимости: $\rho/\rho_o = \psi(p)$ (рис. 5).

По требуемой плотности древесных гранул $\rho_{п}$, через их относительную плотность, зная влияние на нее давления (см. рис. 5), определяется требуемое давление прессования $p_{п}$. По найденному давлению прессования и физическим параметрам гранулируемого вещества по зависимости (22) определяются необходимые геометрические характеристики прессы-гранулятора.

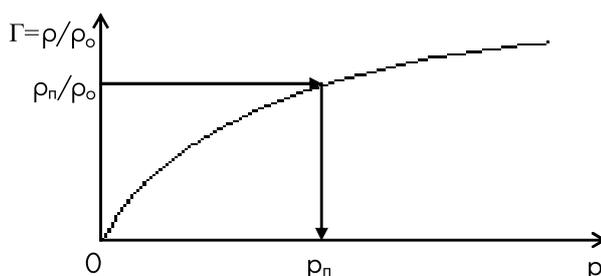


Рис. 5. Изменение относительной плотности гранулируемого вещества от приложенного давления

По результатам, выполненного теоретического анализа, можно сделать следующие выводы:

1. На качественные показатели древесных гранул, помимо физико-технических характеристик исходного древесного сырья (вид древесины, размеры частиц, исходная влажность, адгезионные свойства частиц, коэффициент внутреннего трения и уплотняемость), влияет относительная длина матричного канала, диаметр прессовочного ролика и значение коэффициента Пуассона для спрессованного материала.

2. Учитывая, что основные физико-технические характеристики древесных гранул зависят от относительной плотности спрессованного материала, необходимо провести экспериментальные исследования для определения этих характеристик и влияния на них гранулометрического состава древесной муки, ее влажности, температуры и давления прессования.

3. Полученные теоретические зависимости определяют направления экспериментальных исследований по повышению качества гранулированного древесного топлива.

Поступила 24.02.11

O.D. Mueller¹, V.I. Malygin¹, V.K. Lubov²

¹ Saint-Petersburg State Maritime Technical University, Severodvinsk branch

² Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

Effect of technological equipment parameters on wood pellets quality factors

Mathematic model describing the effect of certain structural parameters of a technological equipment on the wood pellets quality has been developed.

Key words: secondary fuel-energetic resources, off-grade logging and sawing residues, biofuel, boilers, wood powder, pelleting press, master form, extrusion nozzle, energy potential, effectiveness.

УДК 621.86.065.3

Г.Ф. Прокофьев, Е.Д. Гельфанд, И.Е. Ульяновский

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

Прокофьев Геннадий Федорович родился в 1940 г., окончил в 1964 г. Архангельский лесотехнический институт, профессор, доктор технических наук, профессор кафедры прикладной механики и основ конструирования Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, действительный член РАЕН. Имеет более 250 печатных работ в области прикладной механики и интенсификации переработки древесины путем совершенствования лесопильного оборудования и дереворежущего инструмента.

E-mail: g.prokofev@agtu.ru



Ульяновский Иван Евгеньевич родился в 1982 г., в 2007 г. окончил Архангельский государственный технический университет. Аспирант кафедры прикладной механики и основ конструирования Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет 2 печатные работы в области применения газовой смазки.

E-mail: i.ulyanovsky@agtu.ru



ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЛЕНТОЧНОГО ПОЛИСПАСТА В ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ МЕХАНИЗМАХ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

В статье приводится описание ленточного полиспаста, в котором в качестве блоков используются криволинейные аэростатические опоры. Приведен сравнительный анализ с канатными полиспастами.

Ключевые слова: полиспаст, лента, аэростатическая опора, канат, коэффициент трения.

В грузоподъемных механизмах лесопромышленных предприятий в качестве гибкого тягового органа в основном применяются канаты. Главное достоинство канатов – пространственная гибкость. Это обстоятельство позволяет легко создавать устройства, состоящие из свободновращающихся блоков с неподвижными в вертикальной плоскости осями (неподвижные блоки) и с подвижными осями (подвижные блоки), огибаемых канатом и служащие для выигрыша в силе (силовые полиспасты). Стальная лента по сравнению со стальным канатом имеет ряд достоинств, из которых основное – высокая долговечность. Главный недостаток ленты – гибкость только в одном направлении. При создании силового полиспаста с лентой блоки должны быть выполнены в виде невращающихся полуцилиндров, входящих один в другой. Принципиальная схема такого блока показана на рис. 1. Сила F_2 , необходимая для перемещения ленты, натянутой с силой F_1 , по блоку, определяется по известной формуле Эйлера:

$$F_2 = F_1 e^{\omega f},$$

где F_1 – сила натяжения ветви ленты, Н;

e – основание натуральных логарифмов, $e = 2,718$;

ω – угол обхвата лентой одного блока, $\omega = \pi = 3,14$ рад.;

f – коэффициент трения ленты по блоку.

Коэффициент сопротивления блока перемещения ленты

$$\epsilon = e^{\omega f}.$$

КПД блока

$$\eta_{\text{бл}} = \frac{1}{\epsilon}.$$

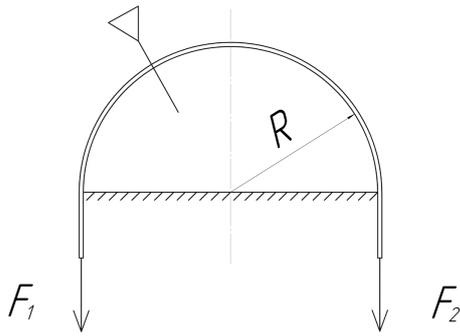


Рис. 1. Блок ленточного полоспаста

КПД вращающихся блоков на подшипниках качения, огибаемых стальными канатами, $\eta_{\text{от}} = 0,97...0,98$ [1]. Примем $\eta_{\text{от}} = 0,98$. Для того чтобы КПД невращающихся блоков, выполненных в виде полуцилиндров, был таким же как у вращающихся блоков в подшипниках качения, коэффициент трения f необходимо снизить до 0,0064. Это может быть достигнуто, если рабочие поверхности блоков выполнить в виде аэростатических опор.

На рис. 2 показан полоспаст нового типа с лентой, движущейся по криволинейным аэростатическим направляющим [2].

Полоспаст включает подвижную и неподвижную обоймы 6, в которых установлены невращающиеся полудиски и полукольца с охватывающими друг друга рабочими поверхностями, выполненными в виде аэростатических опор. Полудиски и полукольца огибаются тяговым органом 5, выполненным в виде ленты. Обойма 6 закреплена на неподвижном основании, а на подвижной обойме 2 установлен крюк. Воздухопровод соединен отверстиями поддува с микроканавками, выполненными на рабочих поверхностях полудисков и полуколец. Один конец ленты 5 закреплен на полудиске, установленном в неподвижной обойме 6, а к другому концу ленты прикладывается тяговое усилие.

Полоспаст работает следующим образом. Груз захватывается непосредственно крюком или с помощью стропа. По воздухопроводу подается сжатый воздух в полости и через отверстия поддува поступает в микроканавки, образуя аэростатические опоры. К концу ленты 5 прикладывается тяговое усилие.

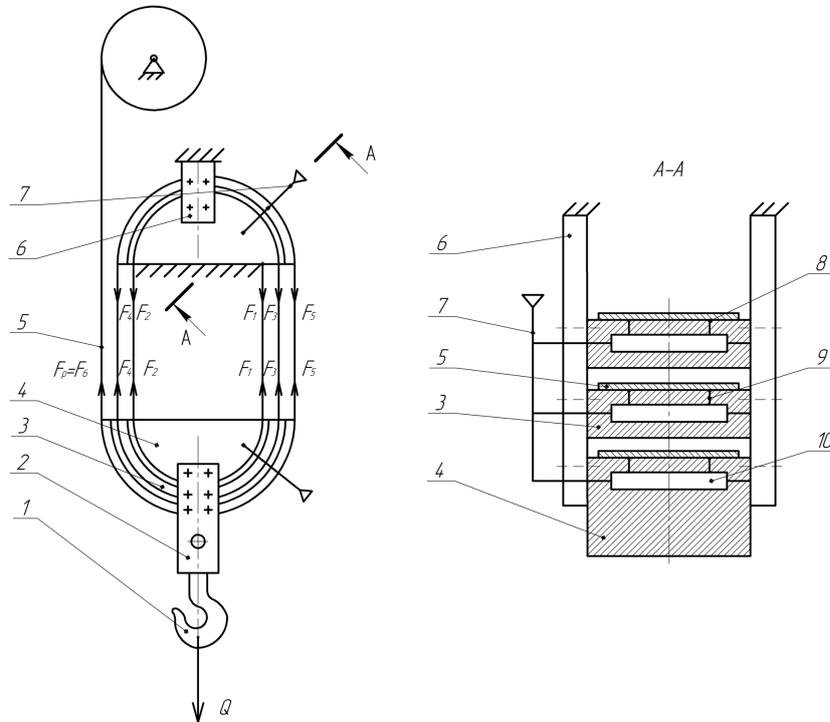


Рис. 2. Полоспаст с лентой, движущейся по криволинейным аэростатическим направляющим: 1 – крюк; 2, 6 – подвижная и неподвижная обоймы; 3 – полукольцо; 4 – полудиск; 5 – лента; 7 – воздухопровод; 8 – микроканавка; 9 – отверстие поддува; 10 – полость

Лента движется по криволинейным аэростатическим опорам, выполненным на рабочих поверхностях полудисков и полуколец, перемещая подвижную обойму 2 с крюком и грузом по направлению к неподвижной обойме 6, то есть при вертикальном расположении полиспаста происходит подъем груза.

Эффективность применения полиспаста с ленточным тяговым органом и криволинейными аэростатическими направляющими определяется следующими его достоинствами: компактностью, высоким КПД, работоспособностью при высоких и низких температурах, высокой гибкостью и прочностью ленты, возможностью самоторможения при прекращении подачи воздуха и возможностью управления скоростью опускания груза за счет изменения давления воздуха. У полиспаста нового вида легче осуществить дефектоскопию грузоподъемного органа. Для строго вертикального подъема и опускания груза не требуется сдвоенного полиспаста.

Максимальное усилие F_p в ленте, наматываемой на барабан, зависит от кратности полиспаста a_n . Если лента при наматывании на барабан сходит с подвижного блока (как показано на рис. 2), то $a_n = z + 1$ (z – число блоков).

Примем коэффициент сопротивления одинаковым для подвижного и неподвижного блоков. Имеем усилия в ветвях ленты для нижней подвески

$$F_2 = F_1 e^{f\omega}, \quad F_3 = F_2 e^{f\omega} = F_1 e^{2f\omega} \dots F_p = F_1 e^{(a_n-1)f\omega}.$$

Сумма проекций всех сил на вертикальную ось для нижней грузовой подвески

$$F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_p = Q,$$

где Q – сила натяжения ветви ленты, Н.

Откуда

$$F_1(1 + e^{f\omega} + e^{2f\omega} + e^{3f\omega} + \dots + e^{(a_n-1)f\omega}) = Q.$$

Слагаемые в скобке представляют собой геометрическую прогрессию. Сумма этого ряда

$$\frac{e^{a_n f\omega} - 1}{e^{f\omega} - 1}.$$

Тогда имеем

$$\frac{F_1(e^{a_n f\omega} - 1)}{e^{f\omega} - 1} = Q.$$

Отсюда

$$F_1 = \frac{Q(e^{f\omega} - 1)}{e^{a_n f\omega} - 1}. \quad (1)$$

Усилие в ветви ленты, идущей на барабан механизма подъема груза, может быть определено по формуле

$$F_p = F_1 e^{(a_n-1)f\omega} = \frac{Q(e^{f\omega} - 1)e^{(a_n-1)f\omega}}{e^{a_n f\omega} - 1}.$$

КПД полиспаста можно определить из отношения полезной работы к затраченной.

Полезная работа при подъеме груза весом Q на высоту H :

$$A_{\text{пол}} = QH.$$

Если груз поднят на высоту H , то на барабан должна быть намотана лента, натянутая с силой F_p и имеющая длину Ha_n . Отсюда следует, что затрачиваемая работа при подъеме груза весом Q на высоту H

$$A_{\text{зат}} = F_p Ha_n.$$

Следовательно, КПД полиспаста

$$\eta_n = \frac{e^{a_n \omega f} - 1}{a_n (e^{f \omega} - 1) e^{(a_n - 1) f \omega}}.$$

Как отмечалось ранее, КПД блока $\eta_{\text{бл}} = \frac{1}{e^{f \omega}}$.

Следовательно,

$$\eta_n = \frac{1 - \eta_{\text{бл}}^{a_n}}{a_n (1 - \eta_{\text{бл}})}.$$

Формула (1), полученная для определения КПД ленточного полиспаста, ничем не отличается от формулы для определения КПД канатного полиспаста [3].

При КПД блока на подшипниках качения канатного полиспаста $\eta_{\text{бл}} = 0,98$ и $a_n = 5$. КПД канатного полиспаста $\eta_n = 0,961$. Используя ленточный полиспаст с лентой, движущейся по невращающимся блокам, имеющим форму полуцилиндров, рабочие поверхности которых выполнены в виде аэростатических опор, коэффициент трения между лентой и рабочей поверхностью блока может быть уменьшен до $f = 0,004$. В этом случае КПД блока $\eta_{\text{бл}} = \frac{1}{e^{f \omega}} = \frac{1}{2,72^{0,004 \cdot 3,14}} = 0,987$.

КПД 0,961 ленточного полиспаста при коэффициенте трения $f = 0,004$ достигается при кратности полиспаста $a_n = 7$.

Выводы

1. Показана возможность и целесообразность создания полиспаста с гибким тяговым органом в виде ленты.
2. Приведены прогнозируемые достоинства полиспаста нового типа.
3. Ведутся теоретические и экспериментальные исследования блока с рабочей поверхностью, выполненной в виде аэростатической опоры, для определения условий, при которых достигается получение коэффициента трения ленты по блоку $f = 0,004$.
4. Необходимо создать опытный образец ленточного полиспаста и испытать его на одном из лесопромышленных предприятий для определения его эффективности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грузоподъемные машины: учебник для вузов / М.П. Александров, Л.Н. Колобов, Н.А. Лобов и др. М.: Машиностроение, 1986. 400 с.
2. Пат. 2124471 Российская Федерация, МПК В66Д 3/08. Полиспаст / Г.Ф. Прокофьев, Н.И. Дундин. – № 97102488/28; заявл. 20.02.97; опубл. 10.01.99, Бюл. № 1
3. Таубер Б.А. Подъемно-транспортные машины: учебник для вузов / Б.А. Таубер. 5 изд. перераб. и доп. М.: Экология, 1991. 528 с.

Поступила 21.02.11

G.F. Prokofiev, E.D. Gelfand, I.E. Ulyanovskiy

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

Application possibility of a band tackle block in a hoisting apparatus of wood processing machines

The paper describes a band hoist where curvilinear aerostatic bearings serve as blocks. Comparative analysis regarding cable tackle blocks has been performed.

Key words: tackle block, band, aerostatic bearing, cable, coefficient of friction.

УДК 662.8

О.С. Пономарев, И.К. Гиндулин, Ю.Л. Юрьев

Уральский государственный лесотехнический университет

Пономарев Олег Сергеевич родился в 1986 г., в 2009 году закончил УГЛТУ, аспирант кафедры Химической технологии древесины УГЛТУ, 3 печатных работы, область научных исследований – термохимическая переработка древесины.
E-mail: o_ponomarev@mail.ru



Гиндулин Ильдар Касимович родился в 1982 г., в 2004 году закончил УГЛТУ, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры Химической технологии древесины УГЛТУ, более 20 печатных работ, область научных исследований – термохимическая переработка древесины.
E-mail: tradeek@mail.ru



Юрьев Юрий Леонидович родился в 1950 г., окончил в 1972 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой химической технологии древесины Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет более 60 печатных работ, область научных исследований – термохимическая переработка древесины.
E-mail: bluestones@mail.ru



БРИКЕТИРОВАНИЕ НЕКОНДИЦИОННОГО ДРЕВЕСНОГО УГЛЯ

В статье показана разработанная технология производства бытовых древесноугольных брикетов с минимальным расходом крахмала в качестве связующего материала, а также условия ее экономической эффективности.

Ключевые слова: древесноугольные брикеты, биотопливо.

На сегодняшний день при производстве древесного угля (ДУ) существуют несколько проблем:

- проблема утилизации отходов, таких как древесноугольная пыль и мелкая фракция угля (менее 12 мм);
- низкая плотность ДУ, которая в свою очередь является причиной низкой удельной теплотворной способности угля на единицу объема и высоких транспортных затрат на единицу массы угля. Хотя теплотворная способность единицы веса брикетов и угля почти одинакова (около 7000 ккал/кг), теплотворная способность единицы объема брикетов в 2–4 раза больше, чем у исходного угля [1];
- низкая прочность ДУ ограничивает область экономически эффективной транспортировки угля.

Эти проблемы решаются организацией производства древесноугольных брикетов (ДУБ).

Изменение удельных транспортных затрат при перевозке ДУБ и кускового ДУ при существующих тарифах на автотранспорте показано на рис. 1. Из графика видно, что перевозка ДУБ обходится примерно в 2 раза дешевле, чем перевозка кускового ДУ. Для обеспечения безубыточных продаж при существующих оптовых ценах внутреннего рынка расходы на транспортировку не должны превышать в среднем 4 руб./кг.

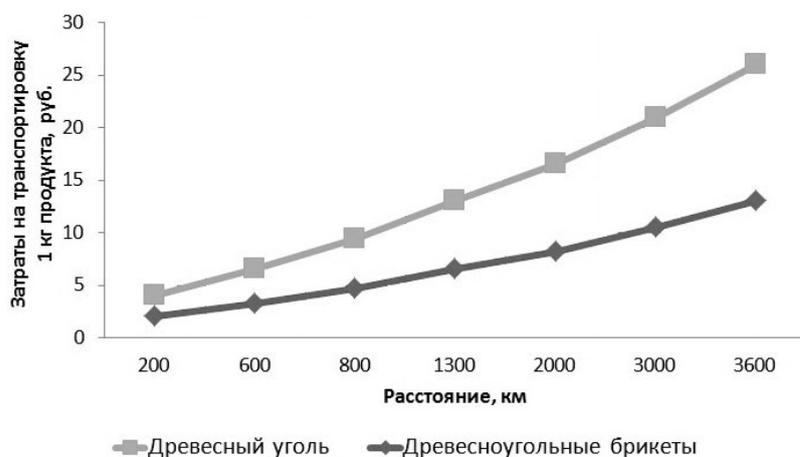


Рис. 1. Расходы на транспортировку ДУ

На рис. 2 показан район безубыточных продаж в зависимости от места расположения производства ДУ или ДУБ. В качестве примера выбраны четыре точки производства: Санкт-Петербург, Краснодар, Екатеринбург и Хабаровск. Как видно из рисунка, производимые в Санкт-Петербурге брикеты, можно экспортировать в Норвегию, Швецию, Данию, Германию, Венгрию; производимые в Краснодаре брикеты – в Грецию, Италию, Словакию, Австрию, Кипр, Ливию, Египет, Израиль, Сирию, Турцию и Иран. Из Екатеринбурга можно экспортировать брикеты в Казахстан, из Хабаровска – в Китай, Южную Корею и Японию. Организация брикетирования ДУ дает возможность в четыре раза увеличить территорию безубыточных продаж, по сравнению с углем.

Нами предложена технология производства ДУБ, которая была внедрена на предприятии ООО «Нико» (г. Тавда, Свердловской области). ООО «Нико» является производителем древесного угля. В качестве связующего материала использовался крахмал. Прессование шихты осуществляли валковым прессом.

Сырье, в виде древесноугольной пыли и мелкого некондиционного угля, подается в измельчитель I. Далее измельченный уголь поступает в смеситель III. Крахмал, разведенный в небольшом количестве холодной воды подается в реактор II. Далее в реактор поступает горячая вода и перемешивается с крахмалом с образованием клейстера. Полученный клейстер подают в смеситель III с измельченным

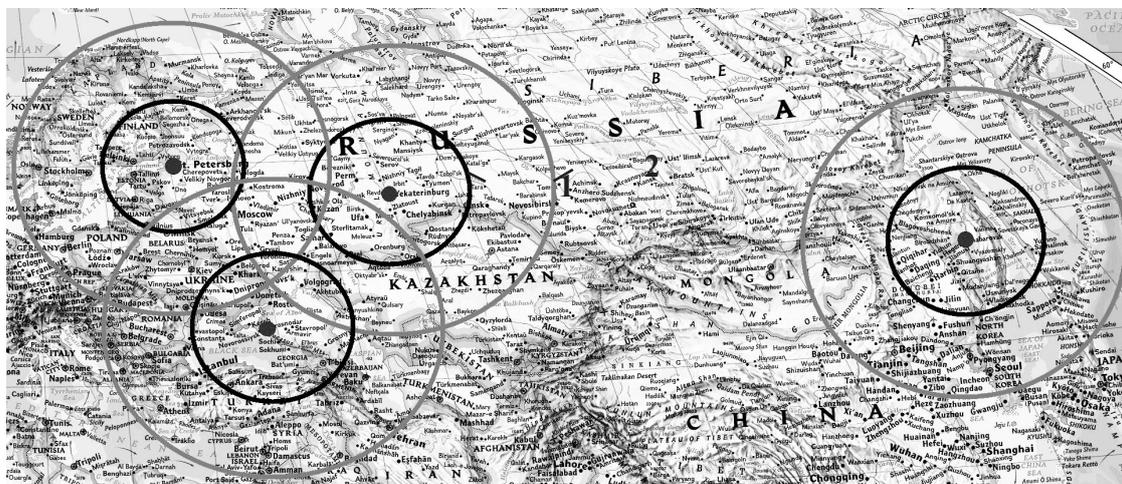


Рис. 2. Район безубыточных продаж: 1 – граница безубыточных продаж ДУ, 2 – граница безубыточных продаж ДУБ

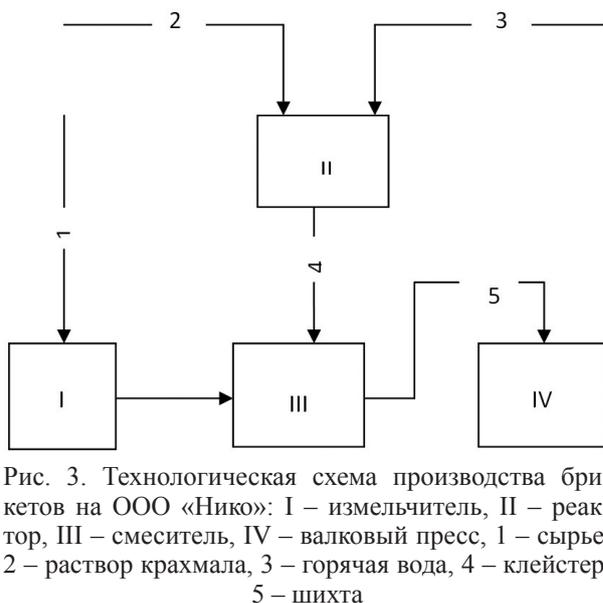


Рис. 3. Технологическая схема производства брикетов на ООО «Нико»: I – измельчитель, II – реактор, III – смеситель, IV – валковый пресс, 1 – сырье, 2 – раствор крахмала, 3 – горячая вода, 4 – клейстер, 5 – шихта

углем. Затем шихта поступает на прессование на валковый пресс.

Полученные таким образом брикеты имеют высокое качество и соответствуют ТУ 2455-003-31235731-06. Кажущаяся плотность составляет 900 кг/м³. Брикеты выдерживают испытание на механическую прочность на сбрасывание с высоты 0,8 м [1].

Издержки производства ДУБ складываются из уровня цен на сырье и связующие материалы, затрат на приготовление шихты и затрат на проведение брикетирования, термообработку, охлаждение и фасовку. Основным фактором конкурентоспособности ДУБ относительно конкурентоспособности кускового

ДУ является низкий уровень издержек на сырье и связующие материалы [2]. ООО «Нико» производит 960 тонн ДУ в год. При этом образуется около 180 тонн отходов, в виде древесноугольной пыли и мелкого некондиционного угля. Капитальные затраты на линию брикетирования составили 1 млн. рублей. Чистая прибыль – 940 тыс. рублей за год. Окупаемость примерно 1 год.

Предлагаемая нами технология имеет следующие преимущества:

- возможность безотходной термохимической переработки неликвидной лиственной древесины;
- снижение себестоимости ДУБ за счет сокращения расходов на покупку связующего и сушку брикетов избыточным теплом печи для производства древесного угля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цейтлин Л.И. Древесноугольные брикеты / Л.И. Цейтлин. М.-Л.: Гослесбумиздат, 1960. 66 с.
2. Юрьев Ю.Л. Древесный уголь. Справочник / Ю.Л. Юрьев. Екатеринбург: Сократ, 2007. 184 с.

Поступила 08.09.10

O.S. Ponomaryov, I.K. Gindulin, Y.L. Yuriev
Ural State Forestry University

Efficiency of charcoal briquets production

This article presents the engineered technology of the fuel charcoal briquets with minimized content of starch as a binding material. Economical feasibility of the developed technology has been assessed.

Key words: fuel briquette, charcoal, starch, energy, binder material, heating capacity, transportation costs.

УДК 674.035

А.С. Архипов, Ю.Г. Лапшин, Д.В. Тулузаков

Московский государственный университет леса

Архипов Александр Сергеевич, 1984 года рождения, в 2006 году окончил Московский Государственный Университет леса, аспирант, автор 6 научных работ в области древесных пластиков и композиционных материалов из древесины,
E-mail: arhipov@mgul.ac.ru



Лапшин Юрий Геннадьевич, 1938 года рождения, в 1960 окончил Московский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор кафедры сопротивления материалов Московского государственного университета леса, автор свыше 70 работ в области технологии деревопереработки,
E-mail: lapshin@mgul.ac.ru



Тулузаков Дмитрий Владимирович, 1960 года рождения, в 1982 году окончил Московский лесотехнический институт, кандидат технических наук, заведующий кафедрой сопротивления материалов Московского государственного университета леса, автор свыше 30 научных работ в области древесных пластиков и композиционных материалов из древесины,
E-mail: tuluzakov@mgul.ac.ru



ПРОЧНОСТЬ ДРЕВЕСНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ В МЕБЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

На основании прочностных расчетов мебельных конструкций и структурно-механического анализа прочности ДСтП, выполненных с помощью метода конечных элементов, а также проведенных экспериментальных исследований получены рекомендации по рациональным параметрам плит для мебельных конструкций и предложена методика оценки прочности и испытания мебельных угловых соединений на стяжках.

Ключевые слова: древесно-стружечные плиты, физико-механические свойства, прочность, напряжения, деформации, мебельные конструкции, структурно-механический анализ.

В 60–80 годы прошлого века наблюдалось быстрое развитие производства древесно-стружечных плит в мире и связанное с этим большое количество научно-исследовательских работ как у нас, так и за рубежом. Однако после 90-х годов количество исследований в России заметно сократилось, а потребление плит возросло. Быстрыми темпами совершенствуются и технология, и оборудование для изготовления ДСтП. Новые требования стандартов заставляют производителей повышать качество ДСтП, при этом увеличивается ассортимент выпускаемых плит с различными физико-механическими и экологическими показателями. Также с момента последних исследований древесно-стружечных плит сильно изменились технические возможности исследований. Появилась возможность проводить исследования на современном высокоточном испытательном оборудовании, выполнять расчеты моделей плит в программных средах проектирования, позволяющих убирать недостатки ранее применяемых упрощенных расчетных моделей.

Для исследования прочности мебельных конструкций были созданы 3D модели некоторых изделий мебельного комбината «Сторосс».

© Архипов А.С., Лапшин Ю.Г., Тулузаков Д.В., 2012

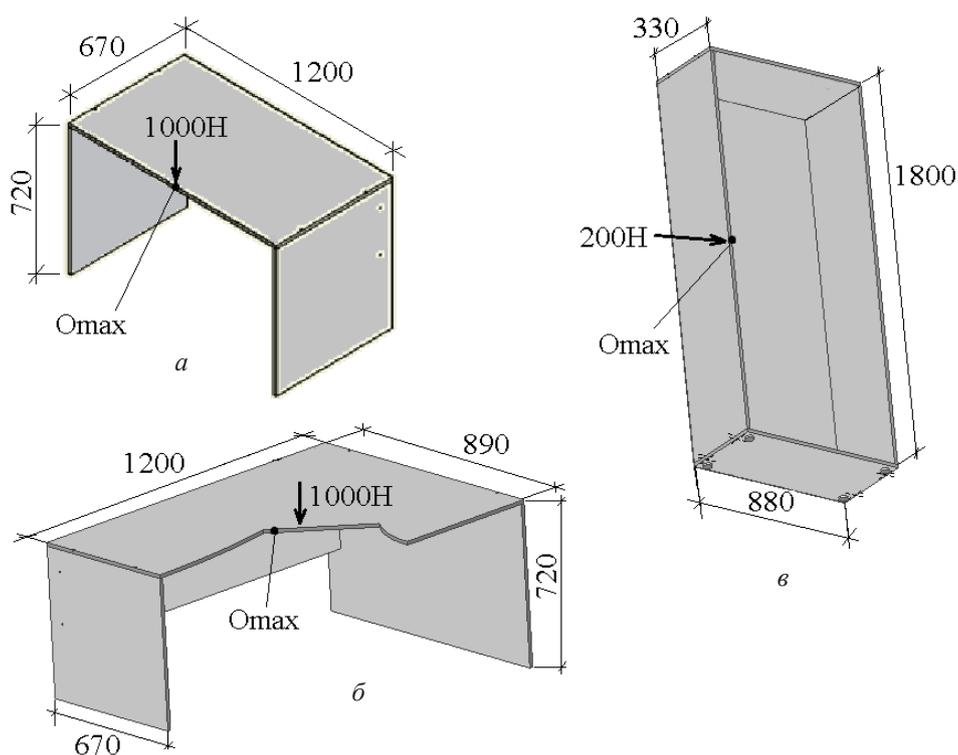


Рис. 1. Расчетные схемы исследуемых конструкций:
 а – письменный стол; б – компьютерный стол; в – бельевой шкаф

Для расчетов были выбраны: письменный стол, компьютерный стол, двухстворчатый бельевой шкаф. На рис. 1 показаны расчетные схемы исследуемых конструкций. Нагрузка в 1000 Н соответствует возможному случаю, когда человек встал на край стола. Боковая нагрузка на шкаф в 200 Н может возникнуть при перемещении бельевого шкафа с одного моста на другое.

Расчеты производились методом конечных элементов в программной среде Cosmos Works.

Как показали результаты расчетов, опасные напряжения возникают в точках O_{\max} (см. рис. 1). Эти напряжения соответственно равны:

для письменного стола $\sigma = 8$ МПа;

для компьютерного стола (плоское напряженное состояние)

$\sigma_1 = \pm 11$ МПа, $\sigma_2 = \pm 5$ МПа;

для бельевого шкафа $\sigma = 2,5$ МПа.

Оценим прочность плиты компьютерного стола по теории наибольших касательных напряжений без учета анизотропии:

$$\sigma_p = \sigma_1 + \sigma_2 \leq [\sigma], \quad (1)$$

$$\sigma_p = 11 + 5 = 16 \text{ МПа.}$$

По ГОСТ 10632-07 [2] нижняя граница величины σ для плит толщиной 14...20 мм равна 13 МПа. Таким образом для данной конструкции можно рекомендовать плиты толщиной 20 мм при этом $\sigma_p = 10$ МПа, что гарантирует запас прочности более чем в 1,3 раза.

Поскольку при изгибе $\sigma = \frac{|M| \cdot 6}{h^2}$, то зависимость прочности от толщины плиты при одинаковой несущей способности имеет вид, представленный на рис. 2.

Из приведенных данных следует, что при уменьшении толщины плиты менее 20 мм для сохранения ее несущей способности требуется резкое увеличение прочности. Таким образом, наиболее употребляемый для корпусной мебели интервал толщин 14–20 мм [2] рационально нормировать по прочности не одним интервалом, а разбить на два интервала 14...16 мм и 17...20 мм, а прочность более тонких плит увеличить на 20%.

Для структурно-механического анализа ДСтП была использована модель, представленная на рис. 3. Модель была рассчитана на растяжение вдоль и поперек направления древесных частиц.

В результате расчетов представленной модели получены значения напряжений в местах контактов частиц, значения которых приведены на рис. 4.

Из графиков (см. рис. 4) видно, что максимальные напряжения в древесных частицах в 5 раз больше средних, определяемых по стандарту.

Для определения касательных напряжений в месте контакта древесной частицы с клеем был произведен расчет моделей, состоящих из частиц и клеевого слоя (рис. 5) со сплошным и дискретным осмолением при различной жесткости клея.

Из приведенных данных видно, что при двухконтактном и трехконтактном осмолении частиц микронапряжения практически не отличаются от аналогичных показателей при сплошном осмолении частиц, следовательно, на практике следует добиваться дискретного осмоления древесных частиц, что позволит сократить расход связующего, не повлияв на снижение механической прочности. Из эпюр, приведенных на рис. 5, можно сделать вывод, что при уменьшении модуля упругости клея в 2 раза значения касательных напряжений уменьшились в 1,5 раза.

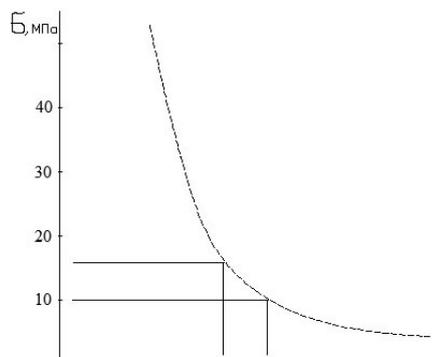


Рис. 2. Зависимости требуемой прочности плит от толщины

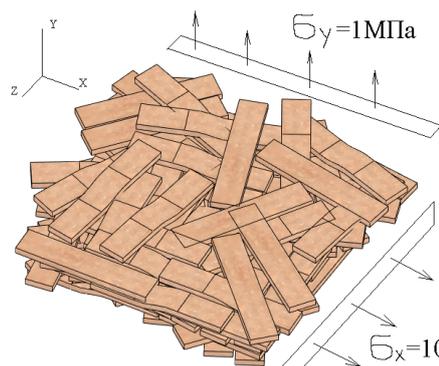


Рис. 3. Структурная схема модели древесностружечной плиты и схема ее нагружения: σ_y — растяжение модели поперек пласти плиты; σ_x — растяжение модели вдоль пласти плиты

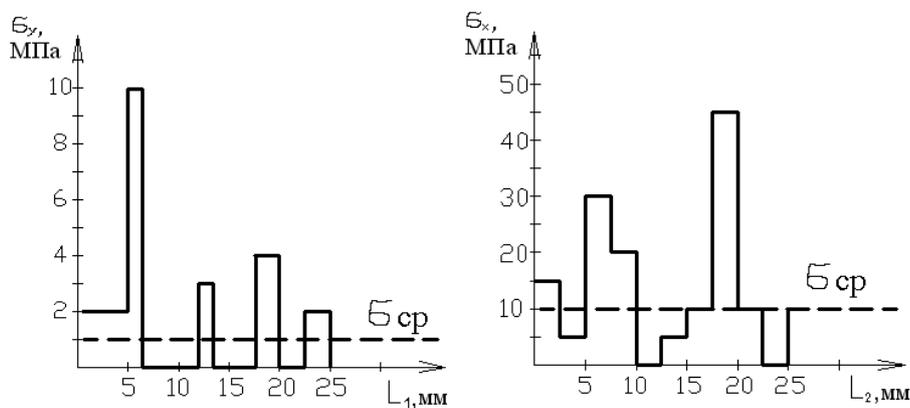


Рис. 4. Эпюры напряжений σ_x и σ_y в среднем сечении

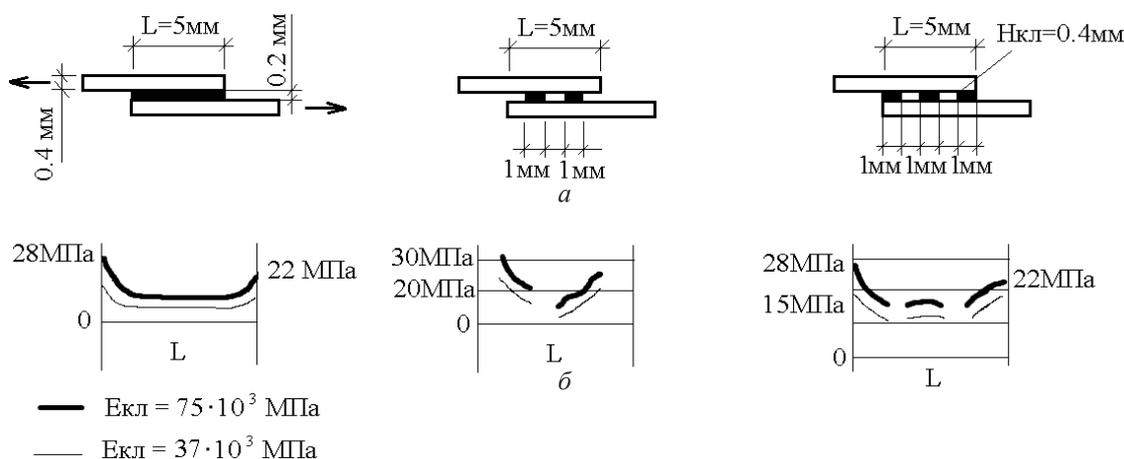


Рис. 5. Схема сплошного и дискретного осмоления частиц (а) и эпюры касательных напряжений при различной жесткости (б)

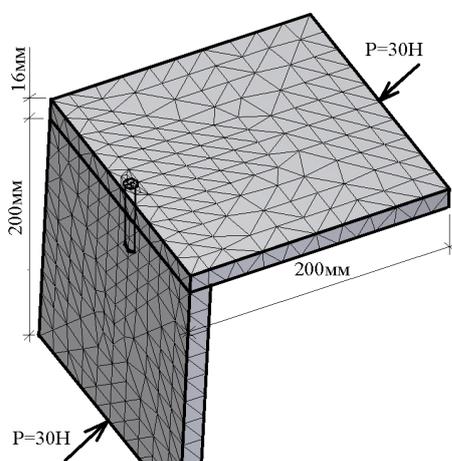


Рис. 6. Схема для испытания и расчета на прочность угловых соединений

На основании результатов расчетов моделей мебельных конструкций, описанных ранее, установлены внутренние силовые факторы, позволяющие исследовать экспериментальную и расчетную модель угловых соединений. Были исследованы современные мебельные угловые соединения на конфирматах (модифицированные шурупы), стяжках с эксцентрик и стяжках с конусным натяжным устройством. На рис. 6 в качестве примера дана расчетная схема модели крепления плит при помощи конфирмата.

По результатам расчетов методом конечных элементов были получены эпюры распределения расчетных напряжений.

Для оценки прочности соединения были взяты значения нормальных напряжений σ_y , σ_z

и касательных напряжений τ_{xy} в месте, где происходит разрушение соединения. Показания снимались в 5 точках сечения разрушения, равномерно распределенных по толщине плиты. На рис. 7, а показаны эпюры напряжений в плоскости разрушения углового соединения конфирматом.

Для оценки прочности был выбран критерий Гольденблатта-Копнова [1]. Этот критерий прочности при плоском напряженном состоянии, характеризуемом компонентами напряжения σ_y , σ_z и τ_{xy} , можно сформулировать так: прочность элемента обеспечена, если удовлетворяется неравенство:

$$\Pi_{11}\sigma_y + \Pi_{22}\sigma_z + \sqrt{\Pi_{1111}\sigma_y^2 + \Pi_{2222}\sigma_z^2 + \Pi_{1122}\sigma_y\sigma_z + 4\Pi_{1212}\tau_{xy}^2} \leq 1,$$

где постоянные Π зависят от прочностных характеристик материала и являются ковариантными по отношению к изменению системы координат. Для использования данного метода необходимо иметь данные по анизотропии прочности. Если показатели прочности древесно-стружечных плит при растяжении, сжатии определить несложно, то определение прочности при чистом сдвиге можно выполнить, используя методику, предложенную В.В. Тулузаковым [3] для исследования чистого сдвига натуральной древесины. В соответствии с этой методикой на кафедре сопротивления материалов МГУЛ было изготовлено приспособление и образцы (рис. 8) для испытаний древесно-стружечных плит при чистом сдвиге.

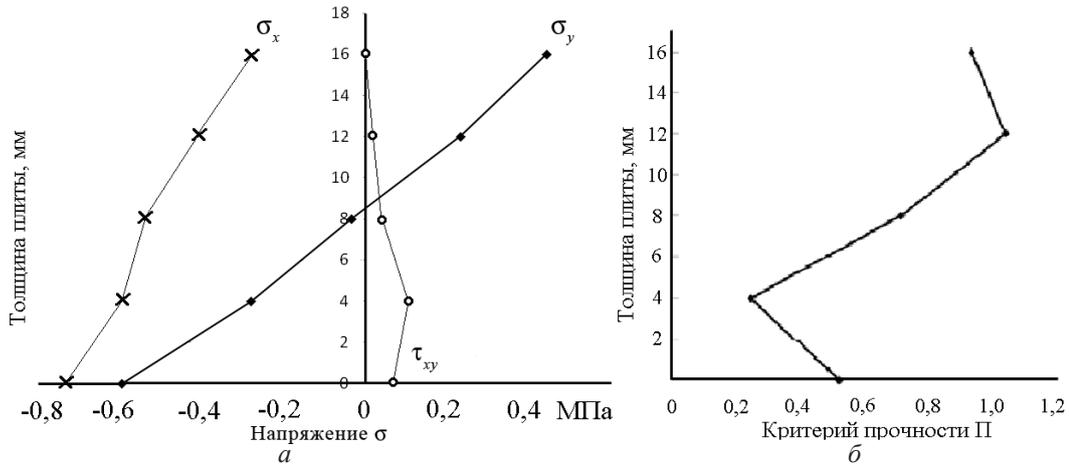


Рис. 7. Эпюры распределения напряжений по толщине плиты в месте разрушения углового соединения конфирматом (а), график распределения значений критерия прочности по толщине плиты (б)

В результате испытаний получены следующие результаты:

- плотность плиты $\rho = 790 \text{ кг/м}^3$;
- плотность наружных слоев $\rho_n = 930 \text{ кг/м}^3$;
- плотность внутренних слоев $\rho_v = 650 \text{ кг/м}^3$;
- прочность при изгибе $\sigma_{и} = 20,4 \text{ МПа}$;
- прочность при изгибе внутреннего слоя $\sigma_{ив} = 8 \text{ МПа}$;
- прочность при растяжении перпендикулярно пласти $\sigma_{p90} = 0,64 \text{ МПа}$;
- прочность при отрыве наружного слоя $\sigma_{отр} = 1,65 \text{ МПа}$;
- прочность при чистом сдвиге внутреннего слоя $\tau_{в45}^+ = 6,2 \text{ МПа}$, $\tau_{в45}^- = 0,64 \text{ МПа}$, $\tau_v = 1,4 \text{ МПа}$.

Прочностные характеристики ортотропного материала должны удовлетворять следующему условию:

$$\left(\frac{1}{\sigma_{в1}^+} - \frac{1}{\sigma_{в1}^-} \right) - \left(\frac{1}{\sigma_{в2}^+} - \frac{1}{\sigma_{в2}^-} \right) = \left(\frac{1}{\tau_{45}^+} - \frac{1}{\tau_{45}^-} \right), \quad (2)$$

где индекс «в» означает внутренние слои плиты, а «+» и «-» растяжение и сжатие соответственно.

Проверим, соответствуют ли полученные экспериментальные данные для среднего слоя этому соотношению:

$$\left(\frac{1}{8} - \frac{1}{15,4} \right) - \left(\frac{1}{0,64} - \frac{1}{6,67} \right) = \left(\frac{1}{6,2} - \frac{1}{0,64} \right),$$

1,35=1,4.

Расхождение менее 5% позволяет заключить, что соотношение (2) выполняется. Таким образом, для оценки показателей анизотропной прочности по результатам стандартных ($\sigma_{и}$, σ_p , $\sigma_{н.с.}$) испытаний древесностружечной плиты можно пользоваться данными таблицы.

Используя полученные значения расчетных напряжений, а также экспериментально полученные показатели прочности, была произведена оценка прочности

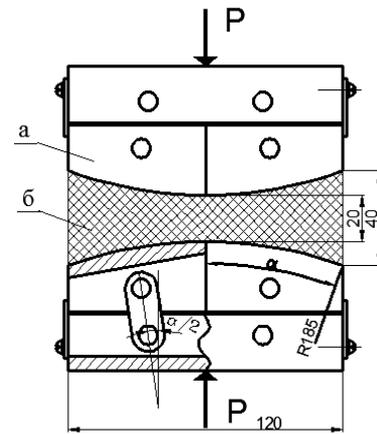


Рис. 8. Образец для испытания на чистый сдвиг: а – нагружающие траверсы; б – образец

Показатели прочности для анизотропных плит ДСтП

Наружный слой	Внутренний слой
$\sigma_{н1}^+ = \sigma_{н1}$	$\sigma_{в1}^+ = 12,5\sigma_p$
$\sigma_{н2}^+ = \sigma_{отр} = 0,82\sigma_{н1}$	$\sigma_{н2}^+ = \sigma_p$
$\sigma_{н1}^- = 20\sigma_{отр} = 15,6\sigma_{н1}$	$\sigma_{в1}^- = 10\sigma_p$
$\sigma_{н2}^- = 23\sigma_{отр} = 19,6\sigma_{н1}$	$\sigma_{н2}^- = 23\sigma_p$
$\tau_{н1} = 2,2\sigma_{отр} = 0,2\sigma_{н1}$	$\tau_{в1} = 2,2\sigma_p$
$\tau_{в1}^+ = 10\sigma_{отр} = 0,82\sigma_{н1}$	$\tau_{в1}^+ = 10\sigma_p$
$\tau_{в1}^- = \sigma_{отр} = 0,082\sigma_{н1}$	$\tau_{в1}^- = \sigma_p$

угловых соединений на различных видах стяжек. Значения критерия прочности в зоне разрушения углового соединения на конфирмате приведены на рис. 7, б.

Сравнение расчетных и экспериментальных данных показывает, что реальное значение прочности соединений отличается от величины, полученной расчетным путём, незначительно. По-видимому, реальная прочность оказывается несколько выше расчетной из-за того, что в расчетах не учитывались пластические деформации, возникающие при сжатии материала плиты.

Качественная картина напряженного состояния, полученная расчетным путем, соответствует характеру разрушения углового соединения. Несущая способность угловых соединений на конфирматах существенно выше несущей способности соединений на конической и эксцентриковой стяжках.

Проведенный структурно-механический анализ позволил установить зависимость между макро- и микронапряжениями в древесно-стружечных плитах, а также оценить влияние жесткости связующего и его распределения между древесными частицами на прочность плит. Проведены расчеты мебельных конструкций на прочность и получены рекомендации как по оптимальным толщинам, так и по изменению диапазонов толщин и прочности в действующем нормативном стандарте [2]. На основе данных, полученных из результатов расчетов моделей мебельных конструкций, предложена методика расчета угловых соединений на стяжках и их испытаний на прочность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гольденблат И.И., Копнов В.А. Критерии прочности анизотропных стеклопластиков. М.: Строительная механика и расчет сооружений. № 5. 1965.
2. ГОСТ 10632-07 Плиты древесностружечные. Технические условия.
3. Тулузаков В.В. Исследование чистого сдвига древесины: дис. М.: МЛТИ, 1969. 156 с.

Поступила 21.02.11

A.S. Arkhipov, Y.G. Lapshin, D.V. Tuluzakov
Moscow State Forestry University

Durability of wood particle board in furniture structural units

Stress-strain properties computations of furniture structural units have been performed. Group structure analysis of wood particle board durability was carried out by the means of the finite element method and experimental work. Efficient parameters of boards to be used in furniture structural units have been derived. New techniques of the boards durability evaluation and furniture drawbar corner joints tests are put forward.

Key words: wood particle boards, physical-mechanical properties, durability, strains, deformations, furniture structural units, structure mechanical analysis.

УДК 674.093

Л.С. Суровцева, А.В. Старкова, В.Г. Турушев, А.М. Копейкин, А.Е. Земцовский

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

Суровцева Любовь Савватьевна окончила в 1966 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, профессор кафедры лесопильно-строгальных производств Северного (Арктического) федерального университета. Имеет более 110 научных трудов в области комплексного, рационального использования древесины, совершенствования технологического процесса лесопильно-деревообрабатывающих производств.
Тел.: 8(8182) 21-61-66



Старкова Анна Владимировна родилась в 1975 г., окончила в 1998 г. Архангельский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент кафедры лесопильно-строгальных производств Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет более 10 научных трудов.
Тел.: 8(8182) 21-61-66



Турушев Валентин Гурьянович родился в 1928 г., окончил в 1952 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор кафедры лесопильно-строгальных производств Северного (Арктического) федерального университета. Имеет более 100 научных трудов в области разработки основ автоматизированного производства.
Тел.: 8(8182) 21-61-66



Земцовский Алексей Екимович, родился в 1962 г., в 1985 г. окончил Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры древесиноведения и тепловой обработки древесины Северного (Арктического) федерального университета. Имеет 18 печатных работ в области деревообрабатывающих производств.
E-mail: alz@atnet.ru



АНАЛИЗ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ЭКСПОРТНЫХ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ РАЗЛИЧНЫХ СТАНДАРТОВ

Наибольшим успехом на рынке пользуются лесоэкспортеры, которые могут предложить пиломатериалы, в наибольшей степени удовлетворяющие требованиям покупателя. Для расширения рынка сбыта на лесопильных предприятиях есть возможность вырабатывать не только традиционные экспортные пиломатериалы (ГОСТ 26002-83), а также экспортную пилопродукцию в соответствии со Скандинавским стандартом. Анализ стандартов показал, что требования к измерению пороков древесины и дефектов обработки пиломатериалов и их учету отличаются. По скандинавскому стандарту предусматривается выпуск более широкого диапазона продукции по качеству, следовательно, он может удовлетворить более широкий круг потребителей.

Ключевые слова: стандарт, пороки древесины, дефекты обработки, сорт.

На Архангельских лесопильно-деревообрабатывающих предприятиях пиломатериалы, поставляемые на экспорт, должны соответствовать ГОСТ 26002-83 [1]. Однако потребителя экспортной пилопродукции не всегда удовлетворяет качество такой готовой продукции.

Наибольшим успехом на рынке пользуются те лесоэкспортеры, которые могут предложить пиломатериалы в наибольшей степени соответствующие требованиям покупателей.

© Суровцева Л.С., Старкова А.В., Турушев В.Г., Копейкин А.М., Земцовский А.Е., 2012

Леса Архангельской области и Скандинавских стран имеют похожую структуру древесины, поэтому ряд отечественных предприятий перешли на поставку пиломатериалов в соответствии со Скандинавским стандартом.

Скандинавские страны выпускают продукцию на экспорт в соответствии со своим стандартом, в котором требования к экспортным пиломатериалам отличаются от реализуемых Архангельскими лесопильно-деревообрабатывающими предприятиями [2].

Выпиливаемые сечения пиломатериалов для двух рассматриваемых стандартов одинаковы: толщина, мм – 16, 19, 22, 25, 32, 38, 44, 50, 63, 75; ширина, мм – 75, 100, 115, 125, 150, 175, 200, 225. Имеется некоторое отличие в требовании к длине пиломатериалов. В скандинавском стандарте минимальная длина пиломатериалов 1,8 м, максимальная – 6,0 м с градацией 0,3 м или 0,1 м. В соответствии с требованиями ГОСТ 26002-83 дополнительно допускается выпускать короткие пиломатериалы от 0,45 м до 1,5 м с градацией 0,15 м, а более 1,5 м с градацией только 0,3 м.

Предельное отклонение от номинальных размеров для рассматриваемых стандартов имеют различия (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Предельные отклонения от номинальных размеров пиломатериалов, мм

Наименование	Стандарты	
	ГОСТ 26002-83	Скандинавские правила
Длина	+25 -12	+50 0
Ширина	менее 50 мм	менее 100 мм
	+2 -1	+3 -1
	50 мм и более	100 мм и более
	+3 -2	+4 -2
Ширина	+3 -2	

Примечание. Номинальные размеры установлены для влажности 20%.

Низшая граница по сечению пиломатериалов одинакова для обоих стандартов, кроме отклонения по длине 12 мм (ГОСТ 26002-83).

Высшие границы отклонений на 1 мм больше для сечений пиломатериалов и на 25 мм больше по длине для нордических пиломатериалов.

Требования к качеству пиломатериалов в стандартах отличаются, а по некоторым порокам и дефектам распиловки значительно.

В табл. 2 приведена классификация сортов пилопродукции для двух стандартов, отражающих качество выпускаемых пиломатериалов на экспорт.

Т а б л и ц а 2

Сорта экспортной продукции

Стандарт	Сорта						
	А				В	С	D
Скандинавский	A1	A2	A3	A4			
ГОСТ 26002-83	б/с			3	4	5	–
	1	2					

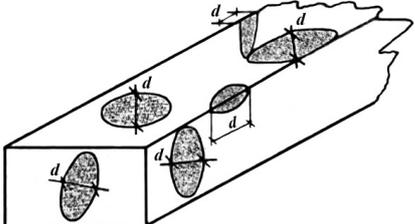
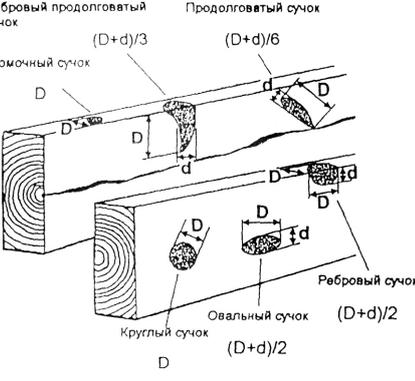
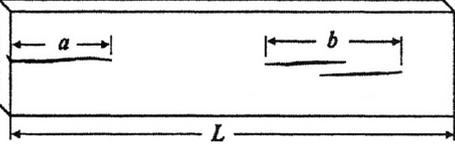
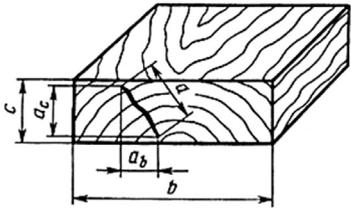
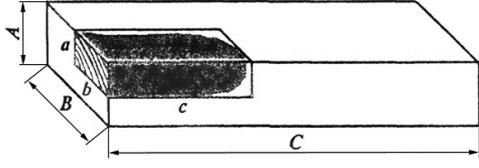
В стандарте северной сортировки предусмотрено три основных сорта, а в скандинавском – 4 сорта. В высших сортах предусмотрена подсортировка: в сорте А – 4 подсорта (A1, A2, A3, A4), A1 является высшим сортом; в бессортном – 1, 2, 3 сорт, где высшим является 1 сорт.

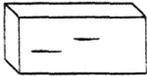
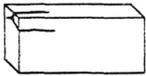
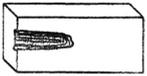
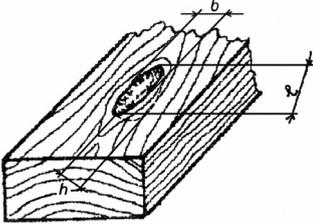
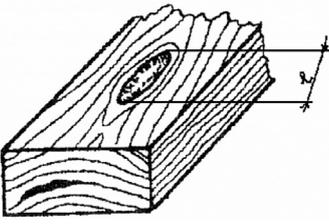
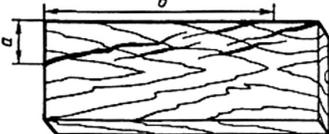
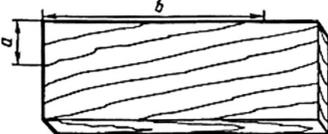
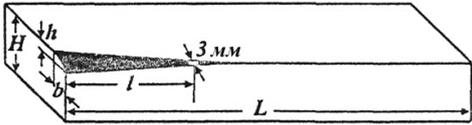
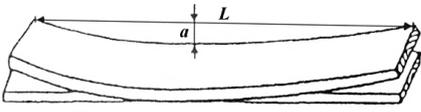
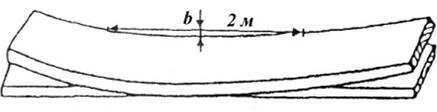
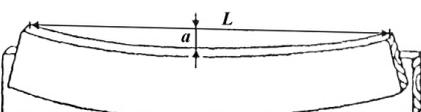
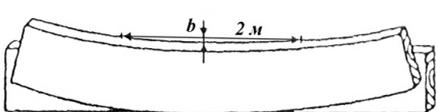
Для возможности эффективного перехода отечественных лесопильно-деревообрабатывающих предприятий на скандинавский стандарт необходимо проанализировать требования к качеству выпускаемой продукции.

Анализ стандартов показал, что имеются различия в измерении пороков древесины и дефектов обработки пиломатериалов, получаемых при распиловке бревен (табл. 3).

Таблица 3

Измерение пороков и дефектов распиловки круглых сортиментов

Вид порока, дефекта	Стандарт	
	ГОСТ 26002-83	Скандинавские правила
1. Сучки		
	<p>Все сучки измеряют по наименьшему диаметру d. Ребровые – по протяженности сучка на ребре.</p>	<p>Сучки измеряют по наибольшему и наименьшему диаметру.</p>
2. Трещины		
	<p>Вычисляют общую длину трещин в долях длины доски L с выходом на торец – в долях толщины пиломатериала c.</p>	<p>Вычисляют общую длину трещин в процентах от длины пиломатериала L:</p> $\frac{a + b + \dots}{L} \cdot 100 \%,$ <p>где $(a + b + \dots)$ – общая длина трещин на пиломатериале, кроме трещин короче 100 мм; перекрывающие друг друга трещины усушки рассматривают как одну сплошную трещину (b).</p>
3. Крень, свилеватость, засмолок, пятнистость и внутренняя заболонь		

	Измеряют по ширине и длине в линейных мерах или по площади зоны, занятой пороком, выражаемой в долях размеров сортимента или в процентах площади соответствующих сторон сортимента.	Объем $a \times b \times c$, содержащий крень, определяют в процентах от объема пиломатериала $A \times B \times C$, вычисленного по номинальным размерам.	
4. Смоляные кармашки, прорость, сухобокость	 <p>смоляной кармашек</p>	 <p>прорость</p>	 <p>сухобокость</p>
			
	Измеряют по длине (l), ширине (b), глубине (h) и количеству штук на 1 м длины или на всю сторону сортимента.	Измеряют и учитывают на худшем метре длины пиломатериала по количеству в штуках и длине (l).	
5. Наклон волокон			
	Наклон волокон измеряют в наиболее типичном месте как отношение отклонения волокон (a) от продольной оси сортимента (b).		
6. Обзол			
	Измеряют в долях длины, ширины, толщины соответствующих сторон пиломатериала, мм.	Длину обзола (l) измеряют в % от длины пиломатериала L ; Глубину обзола (h) – в % от толщины пиломатериала H ; Ширину обзола (b) измеряют в мм.	
7. Покоробленность продольная по пласти			
	Измеряют по величине стрелы прогиба (a , мм) на каждые 1,5 м длины пиломатериалов (L).	Измеряют по высоте покоробленности (b , мм) на худших 2 м длины пиломатериала.	
8. Покоробленность продольная по кромке			
	Измеряют по величине стрелы прогиба (a) в % от длины пиломатериала (L).	Измеряют по величине высоты покоробленности (b , мм) на худших 2 м длины пиломатериала.	

9. Покоробленность поперечная		
	Измеряют по величине стрелы прогиба (a , мм)	Измеряют по ширине вогнутой пласти (b) в % от ширины доски.
10. Крыловатость		
	Наибольшее отклонение (a , мм) пиломатериала от плоскости поверхности.	Высота отклонения (h) от плоскости наружной пласти пиломатериала на худших 2 м его длины в % от ширины пиломатериала.
11. Грибные поражения	Учитывают в долях ширины, длины и глубины пиломатериалов, или по площади зоны поражения соответствующих сторон, %.	Учитывают в % от объема пиломатериала.

Анализ стандартов экспортных пиломатериалов «северной сортировки» и «нордических пиломатериалов» показал, что при измерении отдельных пороков имеются различия. В соответствии с выпуском пиломатериалов «северной сортировки» все сучки измеряются по минимальному их диаметру, в «нордических пиломатериалах» – как среднее арифметическое минимального и максимального диаметров. Требования скандинавского стандарта более высокие, чем к пиломатериалам северной сортировки.

В «нордических пиломатериалах» учет по порокам древесины и дефектам распиловки ведется, в основном, в процентах от размеров или площади пиломатериалов, по ГОСТ 26002-83 учет ведется в долях размеров или площади пиломатериалов. Имеется некоторое различие в терминологии. Скандинавский стандарт предусматривает выпуск более широкого диапазона пилопродукции по качеству, следовательно, он может удовлетворить более широкий круг потребителей.

Для того, чтобы производство было эффективным, предприятия должны быть гибкими и производить пилопродукцию, которая отвечала бы требованиям по размерам и качеству традициям, сложившимся в странах-заказчиках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 26002-83 Пиломатериалы хвойных пород северной сортировки, поставляемые для экспорта. Технические условия. Введ. 01.01.85. М.: Изд-во стандартов, 1985. 33 с.
2. Нордические пиломатериалы (Nordic Timber). Скандинавские правила сортировки сосновых и еловых пиломатериалов. М.: Центр «Лес эксперт», 1994. 62 с.

Поступила 09.11.10

L.S. Surovtseva, A.V. Starkova, V.G. Turushev, A.M. Kopeykin, A.E. Zemtsovskiy
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

Various grading standards analysis of export sawn timber quality assessment

Maximum market achievements are gained by those timber exporters who are capable to offer the sawn goods in full accordance with the buyers' requirements. In order to improve their market position, sawmills are able to produce export goods according to both the traditional rules (GOST 26002-83) and Scandinavian Grading Rules (Nordic Timber). Two named grading systems have significant wood defects and manufacture faults assessment dissimilarities.

Key words: standard, wood defects, manufacture faults, grade.



УДК 676.038.2

В.С. Куров, Ю.А. ТихоновСанкт-Петербургский государственный технологический университет
растительных полимеров

Куров Виктор Сергеевич родился в 1953 г., окончил в 1976 г. Ленинградский государственный технологический институт целлюлозно-бумажной промышленности, профессор, доктор технических наук, проректор по научной работе Санкт-Петербургского государственного технологического университета растительных полимеров. Имеет более 160 печатных работ в области исследования нестационарных гидромеханических процессов и реологии водоволокнистых суспензий целлюлозно-бумажной промышленности.

E-mail: vskurov@inbox.ru



Тихонов Юрий Александрович родился в 1952 г. в г. Архангельске, окончил в 1974 г. Ленинградский технологический институт целлюлозно-бумажной промышленности, кандидат технических наук, доцент кафедры процессов и аппаратов химической технологии Санкт-Петербургского государственного технологического университета растительных полимеров. Имеет около 110 печатных работ в области оборудования целлюлозно-бумажного производства.

Тел.: 8 911 271 55 61



ТУРБУЛЕНТНЫЙ РОТОР ПОВЫШАЕТ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СОРТИРОВАНИЯ МАКУЛАТУРНОЙ МАССЫ

На основании анализа современных конструкций роторов сортировок предложен новый ротор, успешно прошедший промышленные испытания, позволяющий повысить эффективность сортирования загрязненной макулатурной массы, особенно наиболее тяжело удаляемой ее фракции – клейких легкодеформируемых частиц.

Ключевые слова: эффективность сортирования, турбулентные струи, отсасывающие импульсы, диспергирование массы.

Широко известно, что качество макулатурной массы постоянно ухудшается. Вторая по степени важности причина — высокая степень ее загрязненности. Вследствие этого, непрерывно совершенствуются как технологические схемы, так и отдельные аппараты для сортирования макулатурной массы. Наиболее тяжелая, нерешенная проблема – это отделение сора, представляющего собой легкодеформируемые, клейкие, большей частью плоские частицы, в литературе *stickies*, которые под действием гидродинамических усилий роторов сортирующего оборудования, деформируясь и разрушаясь, проникают через самые узкие щели и отверстия в ситах, вызывая в конечном итоге образование пятен, полос, дырок и даже обрывов полотна на машине, а также повышенный износ одежды машин. Повышение эффективности отделения *stickies* в сортировке возможно как за счет совершенствования конструкции сита, так и за счет изменения конструкции ротора. Профильные сита, в отличие от гладких сит, в целом, значительно повышают эффективность сортирования, однако в случае сортирования многих фракций *stickies* она может даже снизиться [3]. Кроме того, недостатки профильных сит – их высокая стоимость и более низкая износостойкость, приводящая к снижению времени эксплуатации сита вплоть до нескольких недель [4]. Поэтому многие фабрики используют дешевые гладкие сита, эксплуатирующиеся годами. С учетом этого,

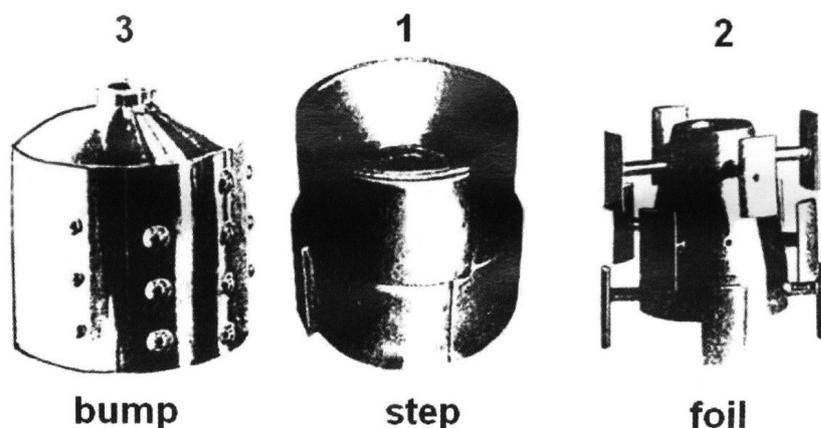


Рис. 1. Наиболее распространенные типы роторов: 1, 3 – для сортирования массы концентрацией 2,5–4%; 2 – для сортирования массы концентрацией 0,5–1,5%

большое значение имеет конструкция ротора, определяющая динамику течения массы на поверхности ситового барабана.

Ротор сортировки должен диспергировать сгустки волокон, чтобы обеспечить свободный проход волокон через сито и отделение сора от них, а также создать надлежащие отсасывающие импульсы, очищающие сито. При наличии в массе *stiekies* ротор не должен образовывать на поверхности сита значительных вдавливающих усилий, заставляющих легкодеформируемые частицы проникать через щели или отверстия сита; не должен создавать сдвиговых усилий, дробящих их на более мелкие фракции. Сравним с этой позиции изображенные на рис. 1 наиболее распространенные типы роторов, остальные роторы, в принципе, представляют собой их модификации.

На рис. 2 показано, что сдвиговые усилия при использовании *step*-ротора возрастают в 100 раз, а вдавливающие усилия в 2 раза по сравнению с *foil*-ротором при одинаковой скорости роторов и на 2 порядка превышают начальный предел прочности для *stiekies*. На рис. 3, согласно [3], показано существенное снижение эффективности сортирования при увеличении окружной скорости роторов. Если учесть, что 13 м/с – характерная скорость для *foil*-ротора, а 22 м/с – минимальная скорость, на которой работает *bump*-ротор, то рис. 3 иллюстрирует тот факт, что при одинаковых условиях эффективность сортирования *foil*-ротора значительно выше по сравнению с *bump*-ротором. Таким образом, из рис. 2, 3 следует, что

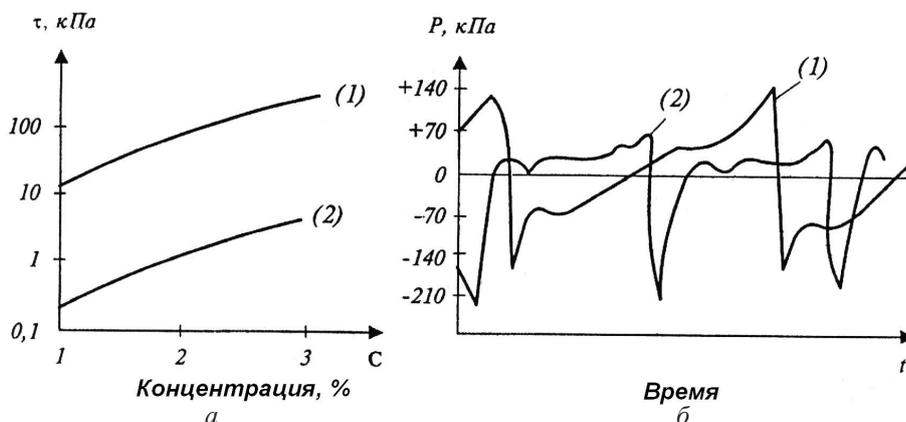


Рис. 2. Сравнение сдвиговых τ (а), согласно [5], и вдавливающих усилий $+P$ (б), согласно [1], развиваемых *step*-ротором (1) и *foil*-ротором (2)

foil-ротор создает наиболее благоприятные условия для сортировки массы, содержащей stiekies при окружной скорости не выше 14 м/с, образуя при этом мощные отсасывающие импульсы, эффективно очищающие сито. Однако, обтекаемая форма лопастей foil-ротора не обеспечивает необходимого уровня турбулизации потока, например, по сравнению с bump-ротором (рис. 4) и не в состоянии обеспечить диспергацию массы средней концентрации 3–4%, при которой в технологической схеме удаляется большая часть stiekies.

Для разрешения этого противоречия на рис. 5 изображена конструкция нового foil-ротора, в ко-

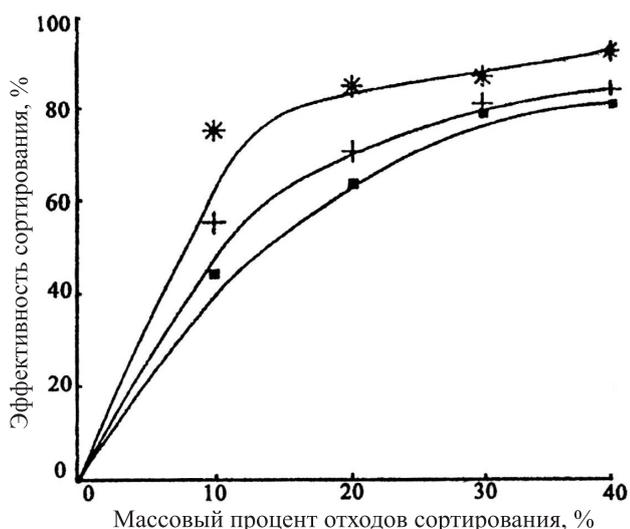


Рис. 3. Снижение эффективности сортирования при увеличении скорости вращения ротора: * – 13,5 м/с; + – 18,0 м/с; ■ – 22,0 м/с

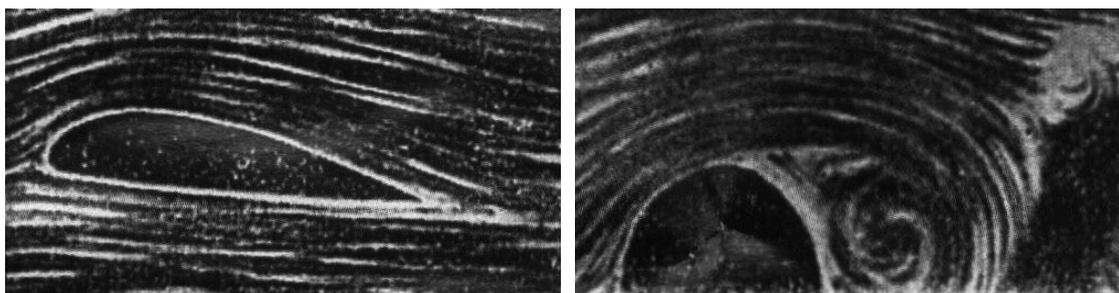


Рис. 4. Сравнение турбулизации потока лопастью foil-ротора (а) и бобышкой bump-ротора (б)

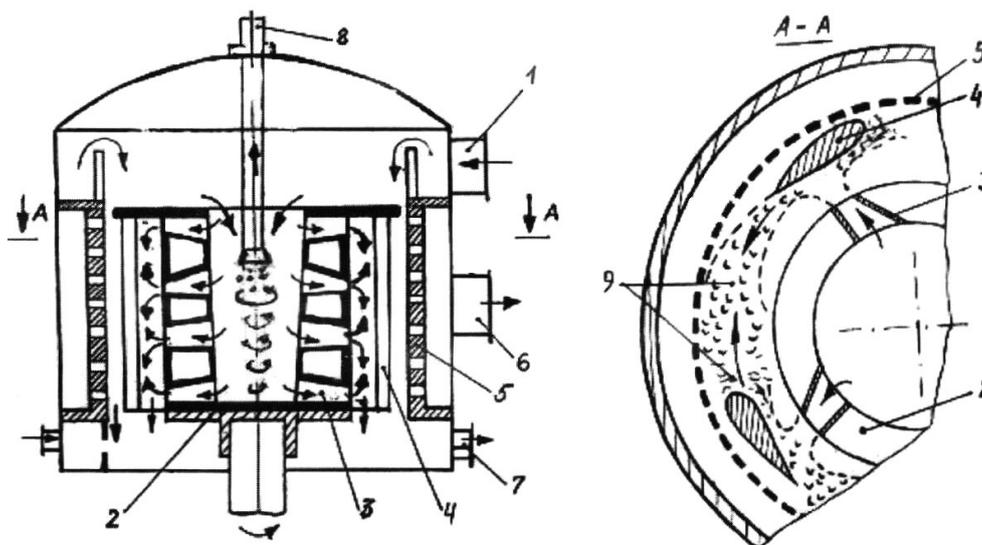


Рис. 5. Схема сортировки с новым ротором: 1 – входной патрубок; 2 – полый ротор; 3 – разгонные патрубки; 4 – лопасти; 5 – ситовый барабан; 6 – выходной патрубок; 7 – патрубок отходов; 8 – труба для отделения легких отходов; 9 – турбулентные потоки перед и за лопастью

торой масса поступает не как обычно – непосредственно к ситам, а большей частью сначала в полость ротора, где распределяется по разгонным патрубкам. Вытекая из разгонных патрубков, струи массы наталкиваются на тыльную сторону лопастей и растекаются в противоположных направлениях, образуя турбулентные струи перед лопастями и за ними.

Турбулентные струи, движущиеся перед лопастями, диспергируют массу перед входом ее в узкий зазор между лопастью и ситом, повышая ее текучесть и, как следствие, уменьшая сдвиговые напряжения, разрушающие стёкies. Струи, которые движутся в обратную сторону – противоположную движению лопастей – образуют за ними турбулентные хвосты, диспергируя флоккулы потока, облегчая прохождение волокон через сито. За счет этого эффекта foil-ротор получает возможность работать без прироста скорости вращения в диапазоне концентрации 3–4%.

Кроме того, перед втеканием массы во вращающиеся патрубки в полости ротора образуется центральный вихрь, в котором концентрируются фракции стёкies, имеющие меньший удельный вес, чем волокно, и удаляющиеся через трубу для удаления легких отходов. Таким образом, к ситам поступает уже предварительно очищенная масса, что повышает эффективность сортирования стёкies на ситовом барабане.

Промышленная модель новой сортировки была установлена в АОЗТ «Завод Картонтоль» для сортирования смешанной макулатурной массы МС5/3, содержащей включения в виде кусочков проклеенного картона, скотча, пенопласта и полиэтилена. Модель в течение полугода прошла испытания при сортировании отходов от сортировки СНС-05 на сите с отверстиями 2,2 мм. Кроме того, были проведены

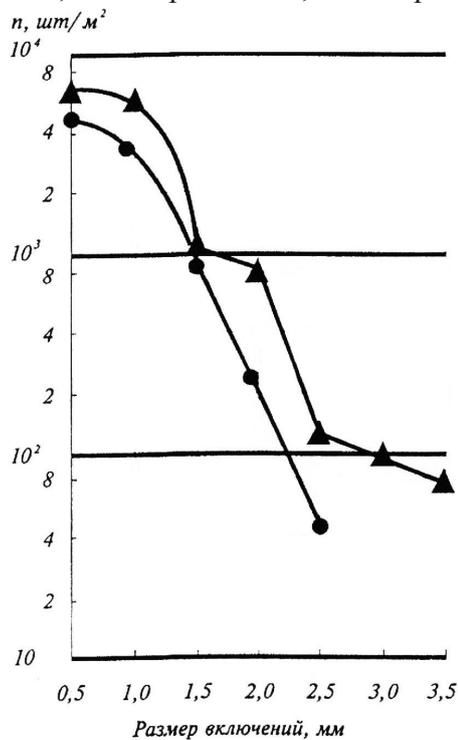


Рис. 6. Сравнение сорности картона после сортирования на сортировке СНС-05 и на модели: ▲ — СНС-05, ● — модель

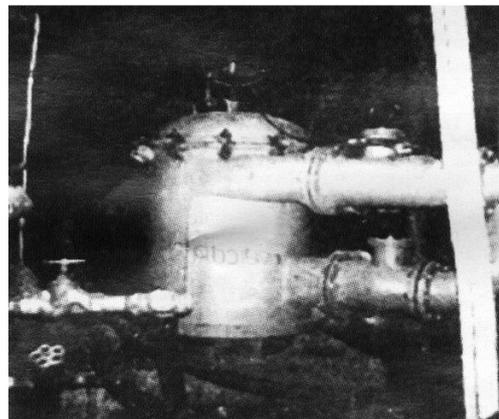
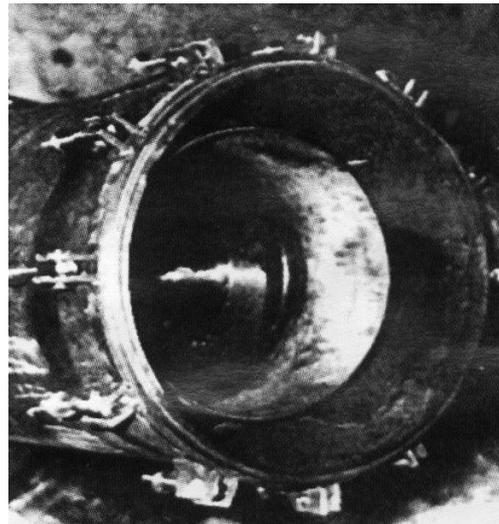


Рис. 7. Фотография модели

кратковременные испытания на более мелком сите толщиной 2 мм из меди, которое можно было изготовить силами завода. Изготовленный ситовой барабан с упрощенной зенкованной формой отверстий диаметром 1,4 мм и коэффициентом перфорации 8% был установлен на модели с окружной скоростью лопастей 11,3 м/с, соответствующей типичной скорости узлоловителя. При кратковременных испытаниях остаток массы из бассейна проходил через модель при концентрации 3,3% и после разбавления оборотной водой подавался на машину для изготовления картона 210 г/м². На рис. 6 приведены данные испытаний по сорности картона, а на рис. 7 – фотография модели.

Выводы

При испытаниях разработанной промышленной модели, проведенных в жестких условиях, – загрязненная макулатурная масса, предельно малый диаметр отверстий сита, низкие значения окружной скорости ротора – получены положительные результаты, подтверждающие перспективность данного направления исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Chi J. Yu, Bruce R. Crossley and Luigi Silvery.* Fundamental study of screening hydraulics. Tappi Journal. 1994. N 9. P. 125–131.
2. *Griener B.* Macro stiekies removal – the screening challenge for complete systems. Paper Technology. 2002. N 5. P. 39–44.
3. *Heise O.* Screening foreign material and stickies. Tappi Journal. 1992. № 2. P. 78–81.
4. *Ommundsen D.* Wedgewire screens win growing acceptance. Euroscreen, Inc. 1995. P. 20.
5. *Schweiss P., Rienecker R., Ressondek P., Dr.Schabel S.* Screening – a tool for stickies removal. Together, paper technology journal Voth Sulzer. 1997. № 4. P. 22–29.

Поступила 31.05.11

V.S. Kurov, J.A. Tikhonov

Saint-Petersburg State Technological Institute of Vegetative Polymers

Turbulent rotor to increase effectiveness of mackle paper mass sorting

Backed by analysis of the modern sorting rotors models, a novel rotor has been suggested. The rotor developed, that successfully passed industrial tests, allows improvement of polluted mackle paper pulp sorting. Removal of glutinous easy-deformable parcels is significantly eased.

Key words: sorting effectiveness, turbulent fluid jets, suction impulses, pulp disintegration.

УДК 532.135:676.2:547.458.81

Г.И. Мальцев¹, Б.К. Радионов¹, С.В. Вершинин²¹ Уральский государственный технический университет² Институт машиноведения УрО РАН

Мальцев Геннадий Иванович родился в 1948 г., окончил в 1972 г. Уральский политехнический институт, кандидат химических наук, старший научный сотрудник кафедры металлургии тяжелых цветных металлов Уральского государственного технического университета. Имеет более 40 печатных трудов в области технологии целлюлозно-бумажного производства.

E-mail: mgj@elem.ru

Радионов Борис Константинович родился в 1950 г., окончил в 1973 г. Уральский политехнический институт, старший научный сотрудник кафедры металлургии тяжелых цветных металлов Уральского государственного технического университета. Имеет более 10 печатных трудов в области технологии целлюлозно-бумажного производства.

Тел.: (343) 242-02-04



Вершинин Сергей Васильевич родился в 1950 г., окончил в 1973 г. Уральский государственный университет, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института машиноведения УрО РАН. Имеет более 10 печатных трудов в области технологии целлюлозно-бумажного производства.

Тел.: (343) 240-41-59



ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВОЛОКНИСТЫХ СУСПЕНЗИЙ

Установлено, что реологические характеристики волокнистых суспензий можно использовать для оптимизации и оценки эффективности процесса проклейки волокнистой массы при изготовлении покровных материалов на основе органических и минеральных волокон.

Ключевые слова: кривые течения, напряжение сдвига, деформация, вязкость, неньютоновская жидкость, структура, релаксация, тиксотропия.

При изготовлении конструкционных видов асбестового картона физико-механические свойства бумагоподобных материалов в значительной мере зависят от степени упорядоченности их структуры, достигаемой при оптимальном режиме проклейки минеральных волокон органическими связующими – синтетическими латексами [2–4]. Возможность прогнозирования свойств бумагоподобных материалов на основе анализа реологических характеристик исходных волокнистых суспензий определяет актуальность проведенных исследований.

Целью работы являлось изучение процессов структурообразования в водных суспензиях минеральных волокон хризотил-асбеста при изготовлении бумагоподобных материалов.

Объектами исследования являлись водные суспензии волокнистых композиций (1–6%) с температурой 20–60°C, содержащие на 100 г (мас. ч.) хризотил-асбеста сортов М-4-20, П-5-65 со степенью помола 30–78°ШР, связующее – синтетический латекс ПНК-33/2 (0–40 мас. ч.), стабилизатор – лигносульфонаты (ЛС) (0–5 мас. ч.), коагулянт – сульфат алюминия (СА) (0–7 мас. ч.). Исследования волокнистых суспензий проводили двумя методами: постоянства скорости деформации ($\dot{\gamma} = \text{const}$) и постоянства крутящего момента ($M = \text{const}$), в ротационном вискозиметре со сменными коаксиальными цилиндрами диаметром, мм: 80 и 107 –

© Мальцев Г.И., Радионов Б.К., Вершинин С.В., 2012

внутренние вращающиеся ($\omega = 1,74\text{--}1526 \text{ с}^{-1}$); 125, 139 и 162 – внешние неподвижные. Величину энергии активации (ΔU , Дж/моль) процессов перегруппировки фрагментов структуры асбестовых суспензий оценивали по формуле [1]:

$$\ln(p/k) = \Delta U/RT,$$

где p – время релаксации, с;
 k – константа, $k = 10^{-13} \text{ с}$.

Для изучения структурно-механических свойств волокнистых суспензий строили кривые кинетики деформации (кривые течения) по установившимся значениям напряжения

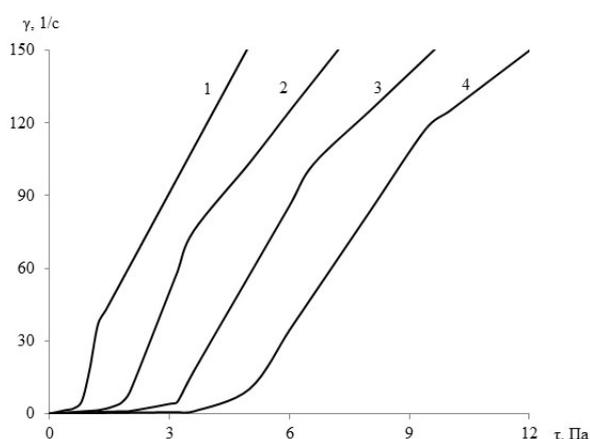


Рис. 1. Кривые течения асбестовой суспензии. Содержание асбеста М-4-20, %: 1 (1); 2 (2); 4 (3); 6 (4)

сдвига в координатах «напряжение сдвига (τ , Па) – скорость сдвига ($\dot{\gamma}$, с^{-1})» (рис. 1). По этим кривым находили независимые друг от друга деформационные характеристики асбестовых суспензий – пределы текучести: статический (τ_c); динамический (τ_d); по Бингаму (τ_B); максимальный (τ_{max}), и вязкости (η , Па·с): ньютоновская наибольшая ($\eta_o = (\tau_d - \tau_c)/\Delta\dot{\gamma}$); эффективная или пластическая ($\eta_{эф} = (\tau_{max} - \tau_B)/\Delta\dot{\gamma}$); ньютоновская наименьшая ($\eta_{min} = (\tau - \tau_{max})/\Delta\dot{\gamma}$), индекс течения (n) (таблица).

Деформационные характеристики асбестовых суспензий

Параметры волокнистой суспензии	Предел текучести, Па				Вязкость, Па·с			n	
	τ_c	τ_d	τ_B	τ_{max}	η_o	$\eta_{эф}$	η_{min}		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Композиция, мас. ч.: 100-М-4-20 (30°ШР); 0-латекс; 0-ЛС; 0-СА, $\ell=10 \text{ с}$, $\omega=15 \text{ с}^{-1}$, $t=20^\circ\text{C}$									
Массовая концентрация (m , %) в суспензии	1	0	0,6	0,8	1,2	0,28	0,011	0,033	0,885
	2		1,2	1,8	3,6	0,90	0,024	0,048	0,784
	4		2,0	3,0	6,6	2,00	0,035	0,064	0,708
	6		3,2	4,6	9,4	5,33	0,041	0,080	0,650
Степень помола асбеста ($m = 1\%$), °ШР	30	0	0,6	0,8	1,2	0,28	0,011	0,033	0,885
	40		0,8	1,1	1,6	0,30	0,012	0,035	0,856
	58		1,1	1,5	2,2	0,31	0,013	0,037	0,826
	78		1,7	2,2	3,3	0,35	0,014	0,041	0,786
Массовая концентрация (m , %) в суспензии ($\omega = 80 \text{ с}^{-1}$)	1	0	4,6	6,2	9,2	0,36	0,014	0,042	0,684
	2		9,2	13,9	27,7	1,15	0,031	0,062	0,563
	4		15,4	23,1	50,8	2,57	0,045	0,082	0,494
	6		24,6	35,4	72,4	6,84	0,053	0,103	0,450
Продолжительность деформации (ℓ , с) суспензии ($m = 6\%$)	2	0	5,8	8,4	17,1	9,70	0,080	0,150	0,771
	4		4,6	6,6	13,4	7,60	0,060	0,110	0,722
	7		4,0	5,8	11,8	6,70	0,050	0,100	0,695
	10		3,2	4,6	9,4	5,33	0,041	0,080	0,650
Продолжительность деформации (ℓ , с) суспензии ($m = 6\%$; $t = 60^\circ\text{C}$)	7	0	5,8	8,4	17,1	9,70	0,080	0,150	0,771
	14		4,6	6,6	13,4	7,60	0,060	0,110	0,722
	25		4,0	5,8	11,8	6,70	0,050	0,100	0,695
	36		3,2	4,6	9,4	5,33	0,041	0,080	0,650

Окончание таблицы

Композиция ($m=1\%$), мас. ч.: 100-М-4-20 (30°ШР); $\ell=10$ с, $\omega=15$ с ⁻¹ , $t=20^\circ\text{C}$									
Содержание латекса в композиции, мас. ч.: 5–ЛС; 4–СА	10	2,1	3,6	4,4	4,8	0,30	0,008	0,096	0,741
	20	2,8	4,4	5,8	6,4	0,32	0,011	0,119	0,702
	30	2,2	3,6	5,2	6,0	0,28	0,009	0,112	0,708
	40	1,9	2,9	5,0	5,8	0,20	0,007	0,109	0,721
Содержание лигносульфонатов в композиции, мас. ч.: 40–латекс; 4–СА	1	3,2	6,8	8,0	8,9	0,72	0,015	0,146	0,647
	2	3,4	7,1	8,2	9,2	0,74	0,016	0,148	0,640
	3	3,6	7,4	8,4	9,5	0,76	0,017	0,151	0,634
	4	3,8	7,7	8,6	9,8	0,78	0,019	0,153	0,625
Содержание сульфата алюминия в композиции, мас. ч.: 40–латекс; 5–ЛС	0	1,1	3,1	7,5	7,7	0,40	0,004	0,140	0,718
	1	3,2	6,6	8,1	8,8	0,68	0,012	0,147	0,660
	2	3,5	7,1	8,3	9,1	0,72	0,013	0,149	0,653
	3	3,7	7,5	8,5	9,4	0,76	0,015	0,152	0,642

Полученные реологические характеристики позволяют отнести исходную суспензию без проклеивающих веществ к псевдопластичным или структурно-вязким жидкообразным системам, которые не имеют статического предельного напряжения сдвига ($\tau_c = 0$) и текут при приложении сколь угодно малого внешнего воздействия. Величина реологических характеристик псевдопластичных систем зависит от скорости сдвига и его продолжительности.

С возрастанием содержания асбеста (m) с 1 до 6%, степени его помола с 30 до 78°ШР и скорости сдвига ($\dot{\gamma}$) при увеличении скорости вращения (ω) внутреннего цилиндра вискозиметра с 15 до 80 с⁻¹ процессы, соответственно, структурирования и разрушения образовавшихся структур в суспензиях, усиливаются – показатели пределов текучести (τ_c) и вязкости (η_j) возрастают, а индексы течения (n) снижаются (см. рис. 1, табл.).

Выявленное снижение напряжений сдвига и эффективной вязкости во время механического воздействия при постоянных скоростях вращения внутреннего цилиндра вискозиметра ($\omega, \dot{\gamma} = \text{const}$) обусловлено тиксотропными свойствами асбестовых суспензий, когда происходит непрерывная перестройка положений, занимаемых отдельными структурными единицами суспензий в направлении вектора скорости. Структурные элементы системы располагаются таким образом, чтобы создавать минимальное сопротивление вращению внутреннего цилиндра вискозиметра.

Подтверждением тиксотропных свойств асбестовых суспензий служит выявленное изменение скорости снижения напряжений сдвига от температуры: с увеличением температуры скорость тиксотропного восстановления структуры снижается, так как большая часть структурных элементов системы обладает низкой энергией активации и способна к преодолению энергетического барьера притяжения, величина которого $\Delta U = 79\text{--}93,3$ кДж/моль при значениях времени релаксации $p = 12\text{--}43,5$ с в интервале температур 293–333 К (см. табл.).

При добавлении к исходной асбестовой суспензии (100 мас. ч.) латекса (10–40 мас. ч.) в присутствии лигносульфоната (1–5 мас. ч.) и сульфата алюминия (1–4 мас. ч.) прочность образующихся нелинейных пластичных коагуляционных структур значительно возрастает. Характер течения коагуляционных структур соответствует исходной асбестовой суспензии, за исключением того, что на кривых течения появляется статическое напряжение сдвига (τ_c). Прочность волокнистой структуры асбестовой суспензии, исходя из реологических характеристик, возрастает при повышении содержания связующего – латекса ПНК-33/2, стабилизатора – лигносульфонатов и коагулянта – сульфата алюминия, соответственно, до 20, 5 и 4 мас. ч. (см. табл.).

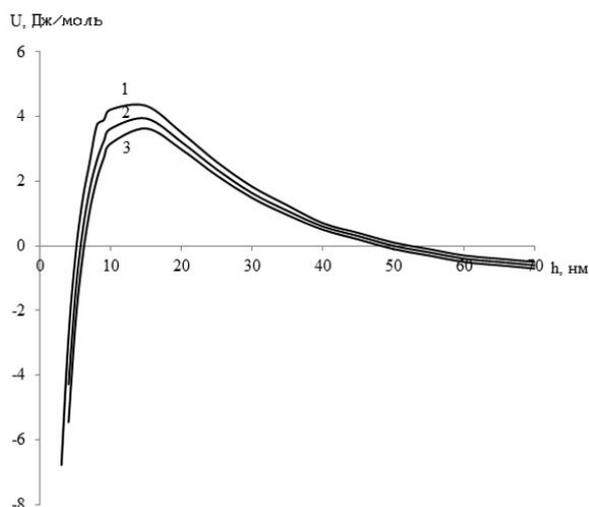


Рис. 2. Зависимость суммарной величины энергии взаимодействия частиц латекса ПНК-33/2 и волокон асбеста М-4-20 от расстояния между ними $A \cdot 10^{-20}$, Дж: 0,05 (1); 0,1 (2); 0,14 (3), $r_{\text{лат.}} = 300$ нм; $\varphi_{\text{лат.}} = 50$ мВ, $\varphi_{\text{вол.}} = 10$ мВ

Нелинейные пластичные структуры возникают за счет ван-дер-Ваальсовых сил притяжения при гетероадагации латексных глобул на асбестовых волокнах на расстояниях ($h > 50$ нм), соответствующих вторичному минимуму ($U_{\text{min}} < 0$) на потенциальных кривых взаимодействия $U = f(h)$ (рис. 2). В местах контакта элементов дисперсной фазы имеются прослойки дисперсионной среды, обеспечивающие относительно небольшую прочность и характерные пластические свойства образующихся структур. Анизометрия латексных частиц и асбестовых волокон также способствует коагуляционно-тиксотропному структурообразованию за счет большой кривизны поверхности и меньшей плотности двойных элект-

рических и сольватных слоев на концах вытянутых элементов дисперсной фазы.

Для коллоидных систем характерно образование структур смешанного типа: вначале устанавливаются коагуляционные контакты с последующим упрочнением связей между частицами, вплоть до образования химических связей, и переходом к конденсационно-кристаллизационным структурам, в которых частицы не могут двигаться относительно друг друга, разрушение происходит без обратимого восстановления. Такие структуры обладают высокой прочностью и проявляют упругие свойства, пластические свойства выражены слабее и обусловлены, главным образом, природой вещества взаимодействующих элементов дисперсной фазы. Переход от одних структур к другим происходит за счет увеличения концентрации (m) в суспензии, например, в процессах обезвоживания и высушивания волокнистой суспензии при изготовлении асбестового картона различного технического назначения.

Физико-механические свойства полученных отливок асбокартона с латексом ПНК-33/2 (рис. 3) подтверждают данные реологических исследований проклеенной волокнистой суспензии

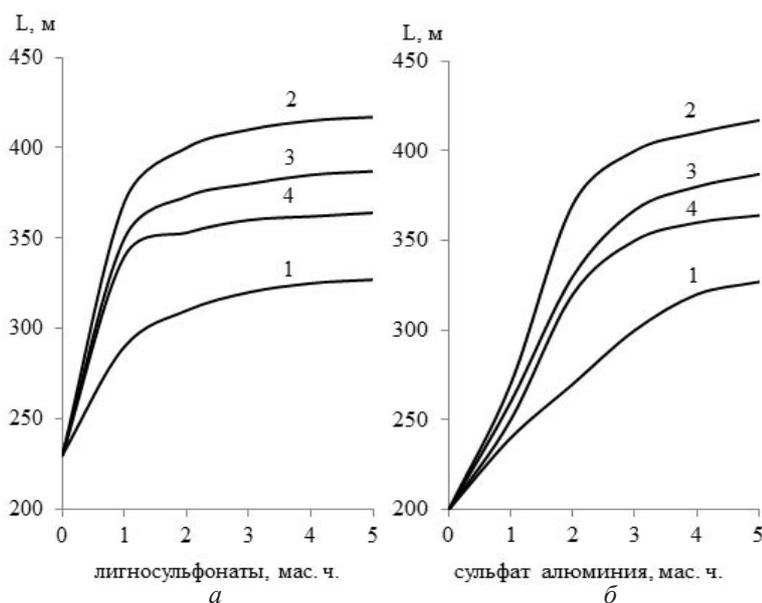


Рис. 3. Влияние содержания лигносульфонатов (а) и сульфата алюминия (б) на разрывную длину образцов асбокартона с латексом ПНК-33/2, мас. ч.: 10 (1); 20 (2); 30 (3); 40 (4)

(см. табл.) – оптимальный состав исходной композиции, мас. ч.: 20–25 – латекс; 4–5 – лигносульфонаты; 4 – сульфат алюминия. При увеличении содержания связующего до 30–40 мас. ч., очевидно, ухудшается процесс гетероадагуляции – осаждение и адгезия латекса на волокне, вследствие преобладания гомокоагуляции латексных глобул между собой.

Таким образом, предварительное исследование реологических характеристик минеральных волокнистых суспензий позволяет прогнозировать, а при необходимости корректировать изменением состава исходной композиции физико-механические свойства изготавливаемого асбестового картона различного технического назначения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бабурин С.В., Киприанов А.И.* Реологические основы процессов целлюлозно-бумажного производства. М.: Лесн. пром-сть, 1983. 192 с.
2. *Мальцев Г.И., Агеев А.Я., Зеленина Н.А.* Использование синтетических латексов для проклейки минеральных волокон // *Химия и технология бумаги: межвуз. сб. науч. тр.* Л.: ЛТА, 1986. С. 27–31.
3. *Мальцев Г.И., Агеев А.Я., Гонсовская Т.Б.* Применение бутадиен-стирольных латексов для проклейки асбестового волокна // *Химия и технология бумаги: межвуз. сб. науч. тр.* Л.: ЛТА, 1987. С. 31–38.
4. *Мальцев Г.И., Агеев А.Я.* Гетероадагуляция латексов на минеральных волокнах // *Изв. ВУЗов. Химия и хим. технол.* 1988. Т. 31, вып. 6. С. 134–136.

Поступила 05.02.10

G.I. Maltsev¹, B.K. Radionov¹, S.V. Vershinin²

¹ Ural State Forestry University

² Ural Division of RAS, Engineering Science Institute

Analysis of rheological properties of asbestos suspension

It has been ascertained that rheological characteristics of fibrous suspensions can be used for effectiveness evaluation and optimization of pulp sizing process during manufacture of organic and mineral fiber based coatings.

Key words: curved flows, transverse strain, deformation, viscosity, non-Newtonian fluid, configuration, relaxation, thixotropy.

УДК 676.088:502.171

А.С. Почтовалова¹, Е.В. Шульгина¹, К.Г. Боголицын^{1,2}, Т.В. Соболева³

¹ Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

² Институт экологических проблем Севера УрО РАН

³ ОАО «Архангельский ЦБК»

Почтовалова Александра Сергеевна родилась в 1973 г., окончила в 1995 г. Архангельский государственный технический университет, кандидат химических наук, доцент кафедры теоретической и прикладной химии Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, имеет более 30 печатных работ в области химии сточных вод и экологии производства.
E-mail: alpochtovalova@gmail.com



Шульгина Елена Валерьевна родилась в 1966 г., окончила в 1988 г. Архангельский государственный лесотехнический институт, аспирант кафедры теоретической и прикладной химии Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, младший научный сотрудник НИИХ и ХТД. Имеет 13 печатных работ в области химии лигнина, сточных вод, метрологического обеспечения КХА.
Тел.: 8(8182) 21-89-48



Боголицын Константин Григорьевич родился в 1949 г., окончил в 1971 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор химических наук, профессор, директор Института экологических проблем Севера УрО РАН, проректор по научной работе Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, заведующий кафедрой теоретической и прикладной химии, заслуженный деятель науки РФ. Имеет более 500 научных трудов в области разработки физико-химических основ процессов переработки древесины.
E-mail: bogolitsin@iepn.ru



Соболева Татьяна Владимировна родилась в 1953 г., окончила в 1978 г. Архангельский государственный лесотехнический институт, в 1997 г. Российскую академию государственной службы при Президенте Российской Федерации, кандидат технических наук, начальник отдела экологии ОАО «Архангельский ЦБК». Имеет более 10 печатных работ в области экологии производства.
Тел.: 8(8182) 24-25-23



ХАРАКТЕРИСТИКА СОДЕРЖАНИЯ ЛИГНИННЫХ ВЕЩЕСТВ И ХИМИЧЕСКОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ КИСЛОРОДА В ВОДЕ р. СЕВЕРНАЯ ДВИНА В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ СТОЧНЫХ ВОД ОАО «АРХАНГЕЛЬСКИЙ ЦБК»

Рассмотрены особенности формирования химического состава поверхностных вод р. Северная Двина. Проанализированы особенности распределения концентрации лигнинных веществ и интегрального показателя ХПК в зоне выпуска сточных вод ОАО «Архангельский ЦБК».

Ключевые слова: сточные воды, поверхностные воды, химическое потребление кислорода, лигнинные вещества.

Состав органических веществ в природных водах формируется под влиянием многих факторов. К числу важнейших относятся внутриводоемные биохимические процессы продуцирования и трансформации, поступления из других водных объектов с поверхностным и подземным стоком, атмосферными осадками, промышленными и хозяйственно-бытовыми сточными водами. Образующиеся в водоеме и поступающие в него извне органические вещества весьма разнообразны

© Почтовалова А.С., Шульгина Е.В., Боголицын К.Г., Соболева Т.В., 2012

по своей природе и химическим свойствам, в том числе и по устойчивости к действию разных окислителей.

Гидрохимический режим р. Северная Двина в основном является естественным и отражает природные особенности региона. Поскольку питание реки глубинными подземными водами незначительно, решающая роль в формировании химического состава вод принадлежит почвам и подстилающим грунтам. Значительная заболоченность бассейна реки обуславливает поступление в ее систему большого количества гуминовых кислот.

Помимо естественных причин, существенную роль в поступлении органических соединений играют антропогенные факторы. Начиная с 60-х годов, в бассейне реки интенсивно развивалась хозяйственная деятельность: вводились в эксплуатацию новые предприятия, развивалось сельское хозяйство, производилось значительное преобразование природных ландшафтов, увеличивался сброс загрязняющих веществ в речную систему. Развитие целлюлозно-бумажной промышленности способствовало избыточному содержанию органического вещества в реке, и без того высокого из-за природных особенностей региона. Особенно возросло поступление компонентов ароматической природы – лигнинных веществ и фенолов. Поступление лигнинов техногенного происхождения в природные воды может приводить к различным неблагоприятным последствиям. Например, разложение сульфатного лигнина способствует образованию водорастворимых фракций, кроме того, при биохимическом разложении в водоеме может возникнуть дефицит кислорода, обусловленный его потреблением на окисление как исходного лигнина, так и промежуточных продуктов его распада [2].

В целом лигнинные компоненты представляют собой группу родственных высокомолекулярных соединений ароматической природы, сходных по природе и строению с гуминовыми веществами. Данные ферментативного окисления лигнинсодержащих веществ показывают прямую зависимость между способностью к окислению и токсичностью, которая связана с образованием низкомолекулярных фенольных соединений. Основным фактором, оказывающим влияние на повышение токсичности лигнинных веществ, является их способность к окислению, инициируемая солнечной радиацией, содержащимся в воде растворенным кислородом, ионами тяжелых металлов в высшей степени окисления, а также микробиологическими и растительными ферментными системами. Наиболее высокомолекулярная фракция лигнинных компонентов представляет собой группу конденсированных и мало трансформируемых в природных условиях соединений, имеющих низкую скорость разложения и поэтому склонных к накоплению в водоеме.

Важнейшим свойством лигнина является его способность к реакциям конденсации. В природных водах лигнин разрушается примерно через 200 сут. При разложении лигнина появляются токсичные низкомолекулярные продукты распада (фенолы, метанол, карбоновые кислоты). Значение предельно-допустимой концентрации (ПДК) лигнина в воде водоемов рыбохозяйственного назначения составляет 3 мг/дм³ по токсикологическому лимитирующему показателю вредности [1].

Соотношение содержащихся в воде легко- и трудноокисляемых лигнинных веществ в значительной мере влияет на показатель окисляемости воды при различных методах ее определения. Наиболее распространенным показателем, характеризующим окисляемость вод, в России и за рубежом является параметр химического потребления кислорода (ХПК). Под ХПК понимается мера общей загрязненности воды содержащимися в ней органическими и неорганическими восстановителями, реагирующими с сильным окислителем [3]. Являясь интеграль-

ным показателем, ХПК в настоящее время считается одним из наиболее информативных показателей антропогенного загрязнения вод.

В 2005–2009 гг. проведены мониторинговые исследования участка р. Северная Двина, в ходе которых были получены данные о содержании лигнинных веществ и ХПК в поверхностных водах на различном удалении от места выпуска сточных вод ОАО «Архангельский ЦБК». Проведен анализ динамики изменения уровней этих показателей за весь период наблюдений. В работе учитывался тот факт, что исследуемый участок водотока находится в устьевой области, имеющей собственные гидрохимические особенности, вызванные смешением морских и речных вод. В частности, для устьев приливных рек характерны кратковременные изменения гидрохимических характеристик, основными причинами которых являются приливы, а также резкая смена направления и силы ветра, вызывающая сгонно-нагонные явления на взморье и в дельте. Приливы и нагоны могут приводить к таким явлениям, как изменение уклонов, уровня, течений в рукавах, а также объясняет большую изменчивость многих, в том числе химических показателей – их пространственно-временные колебания на порядок превышают колебания в чисто речных или чисто морских водах [4]. В связи с этим пробоотбор производился серийно, на самой большой и малой воде приливно-отливного цикла, поэтому получены результаты по каждому показателю отдельно для прилива и отлива. Требования к пробоотбору соответствовали ГОСТ Р 51592 – 2000.

Предварительно проведено обоснование выбора методик определения содержания лигнинных веществ и ХПК.

Для определения содержания лигнинных компонентов в настоящее время не существует универсальной высокоселективной методики. Определение с нитритом, в основном применяемое сейчас в аналитических лабораториях, имеет значительный недостаток, заключающийся в низкой селективности метода к разным по строению и происхождению группам веществ лигнинной природы. В своих исследованиях мы использовали метод определения лигнинных веществ с нитритом по ПНДФ 14.1:2.216-06, как утвержденный к применению государственными экологическими службами. Несмотря на присутствие в речной воде летучих с паром фенолов, мешающих определению лигнинных веществ, предварительную отгонку пробы не проводили в связи с чрезвычайно низкими уровнями содержания фенолов (на два порядка ниже погрешности измерения).

Для выбора наиболее корректной методики определения ХПК для природных вод проанализировано ХПК по методикам ПНД Ф 14.1:2:4.190-03, ИСО 6060 и DIN 38 409 (часть 41). Сущность методов тождественна и заключается в окислении пробы исследуемой воды бихроматом калия в сильноокислой среде в присутствии катализатора сульфата серебра, а также сульфата ртути для устранения мешающего влияния хлоридов, содержащихся в пробе.

Методика ПНД Ф 14.1:2:4.190-03 основана на нагревании испытуемой пробы в герметических кюветах (виалах) в термореакторе в течение 2 ч. в кислой среде с известным количеством бихромата калия в присутствии серебряного катализатора, последующем фотометрическом определении изменения окраски раствора, произошедшей в процессе окисления бихроматом калия органических веществ пробы.

Определения по методикам ИСО 6060 и DIN 38 409 (часть 41) основаны на нагревании в течение 2 ч. с обратным холодильником испытуемой пробы в концентрированной серной кислоте с известным количеством бихромата калия в присутствии серебряного катализатора, последующем титровании избытка бихромата калия раствором соли Мора. ХПК рассчитывают по количеству восстановленного

бихромата. При определении по методике ИСО 6060 используется менее концентрированный раствор бихромата калия.

По результатам определения ХПК в водах р. Северная Двина рассчитаны следующие метрологические характеристики (табл.): среднее квадратичное отклонение (S); предел повторяемости ($r_{п}$) и предел воспроизводимости ($R_{п}$) методики анализа; границы относительной погрешности ($\delta_{п}$), коэффициент вариации K_{V} .

Метрологические характеристики определения ХПК по разным методикам (диапазон до 50 мг $O_2/дм^3$)

Методика	S , мг/дм ³	$r_{п}$, %	$R_{п}$, %	$\delta_{п}$, %	K_{V} , %
ПНД Ф 14.1:2:4.190-03	6,72	35	28	21	9
ИСО 6060	3,79	41	32	26	11
DIN 38 409 (часть 41)	2,90	33	26	21	8

Из таблицы видно, что метрологические характеристики методик близки. Значения коэффициента вариации около 10% свидетельствуют о незначительной изменчивости вариационного ряда. При низких значениях показателя ХПК (менее 50 мг $O_2/дм^3$) наибольшую точность показали методики ПНД Ф 14.1:2:4.190-03 и DIN 38 409 (часть 41), так как в данном диапазоне значений показатель ХПК имеет наименьшую погрешность измерений, при этом сама методика предполагает норму относительной погрешности до 30% (для методики ПНД Ф), а для методики DIN она не установлена.

В результате исследований получена (рис. 1) более высокая сходимость результатов определения ХПК в поверхностных водах по методикам ПНД Ф 14.1:2:4.190-03 и ИСО 6060 (коэффициент парной корреляции составил не менее 0,95; угол наклона прямой 0,75), чем по методикам ПНД Ф, 14.1:2:4.190-03 и DIN 38 409 (угол наклона прямой 1,15).

Таким образом, для анализа поверхностных вод, характеризующихся значениями ХПК менее 50 мг $O_2/дм^3$, предпочтительнее использовать метод ПНД Ф и ИСО, так как для этих методик установлена наименьшая относительная ошибка определения. В дальнейшем для определения ХПК была использована российская методика ПНД Ф 14.1:2:4.190-03.

Полученные результаты и последующий анализ распределения концентраций основных загрязняющих веществ по руслу р. Северная Двина в зоне действия ОАО «Архангельский ЦБК» позволил оценить зону влияния сточных вод предпри-

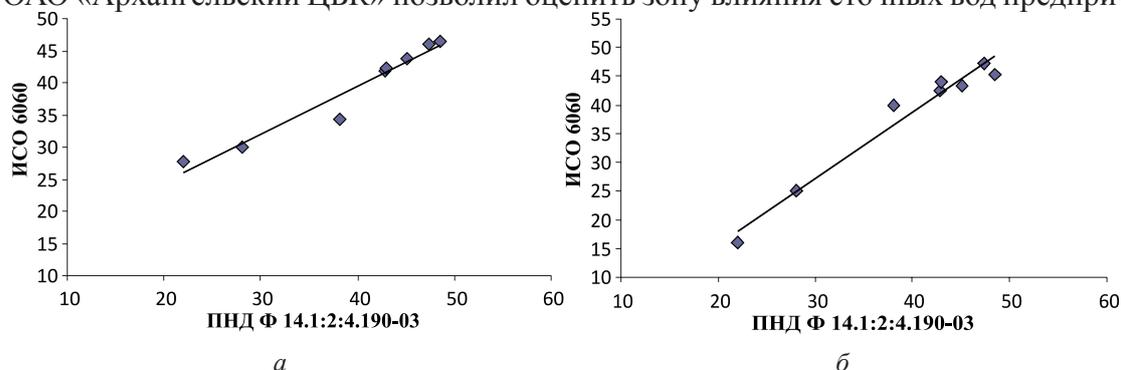


Рис. 1. Корреляция методик определения содержания (мг $O_2/дм^3$) загрязняющих веществ по показателю ХПК в поверхностных водах (диапазон измерений до 50 мг $O_2/дм^3$): а – по ПНД Ф 14.1:2:4.190-03 и ИСО 6060 ($y=0,7491x+9,5755$ ($R^2=0,9508$)); б – ПНД Ф 14.1:2:4.190-03 и DIN 38 409 ($y=1,1546x-7,5107$ ($R^2=0,9645$))

ятия как локализованную. При этом, рассматривая фазу отлива как условие наиболее корректной оценки влияния сточных вод предприятия на водоток, можно отметить, что на контрольном створе (500 м ниже рассеивающего выпуска) уровень содержания загрязняющих веществ соответствует фоновым значениям (рис. 2, *а, б*). Повышение уровня общей загрязненности по параметру ХПК ниже контрольного створа может быть связано как с трансформацией веществ в водоеме, так и с влиянием сточных вод других предприятий и малых рек. В то же время, в створе, ближайшем к месту выпуска сточных вод и расположенном выше по течению, наблюдаемый уровень значений ХПК соответствует фоновому. Сами фоновые значения превышают нормы, установленные для водоемов любого вида водопользования (не более 15 мг О₂/л для хозяйственно-питьевого, не более 30 мг О₂/л для коммунально-бытового водопользования), что связано, как указывалось выше, с природными особенностями региона, т.е. высоким содержанием органики в воде.

Концентрация лигнинных компонентов в поверхностных водах изучаемого участка водотока в основном не превышала значений ПДК, установленной для водоемов рыбохозяйственного использования. Превышение ПДК наблюдали только в фазу прилива в непосредственной близости выпуска сточных вод предприятия, зона влияния составляет 0,5 км ниже и 2,0 км выше точки рассеивающего выпуска (рис. 2, *в*).

Так как для корректной оценки воздействия сточных вод предприятия на качество природных вод необходимо учитывать влияние гидрологических особенностей указанного участка водотока, что должно сказываться на пространственном распределении концентрации примесей, в дальнейшем наблюдение проводили в трех створах, расположенных как на уровне рассеивающего выпуска сточных вод, так и ниже по течению. Количество вертикалей в створе было принято равным трем.

Использование специализированной программы математической обработки данных SigmaPlot 10.0 позволило получить диаграммы пространственного рас-

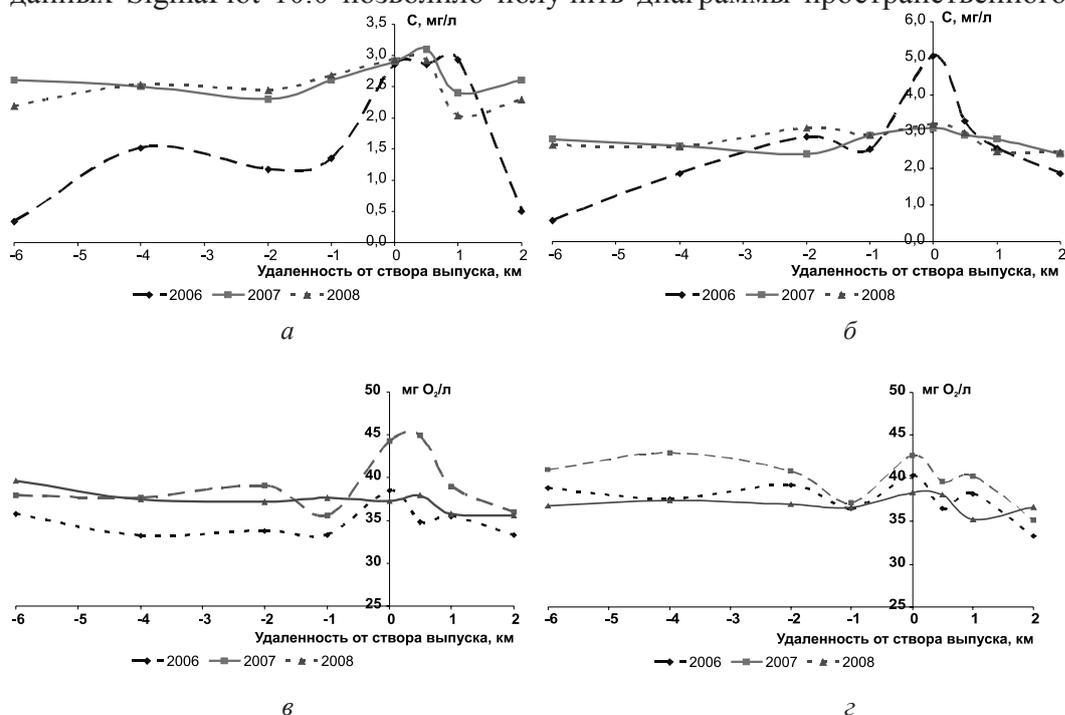


Рис. 2. Профили распределения концентрации лигнинных веществ *C* (*а, б*) и значений ХПК (*в, г*) в зависимости от фазы приливо-отливного цикла: *а, в* – отлив; *б, г* – прилив

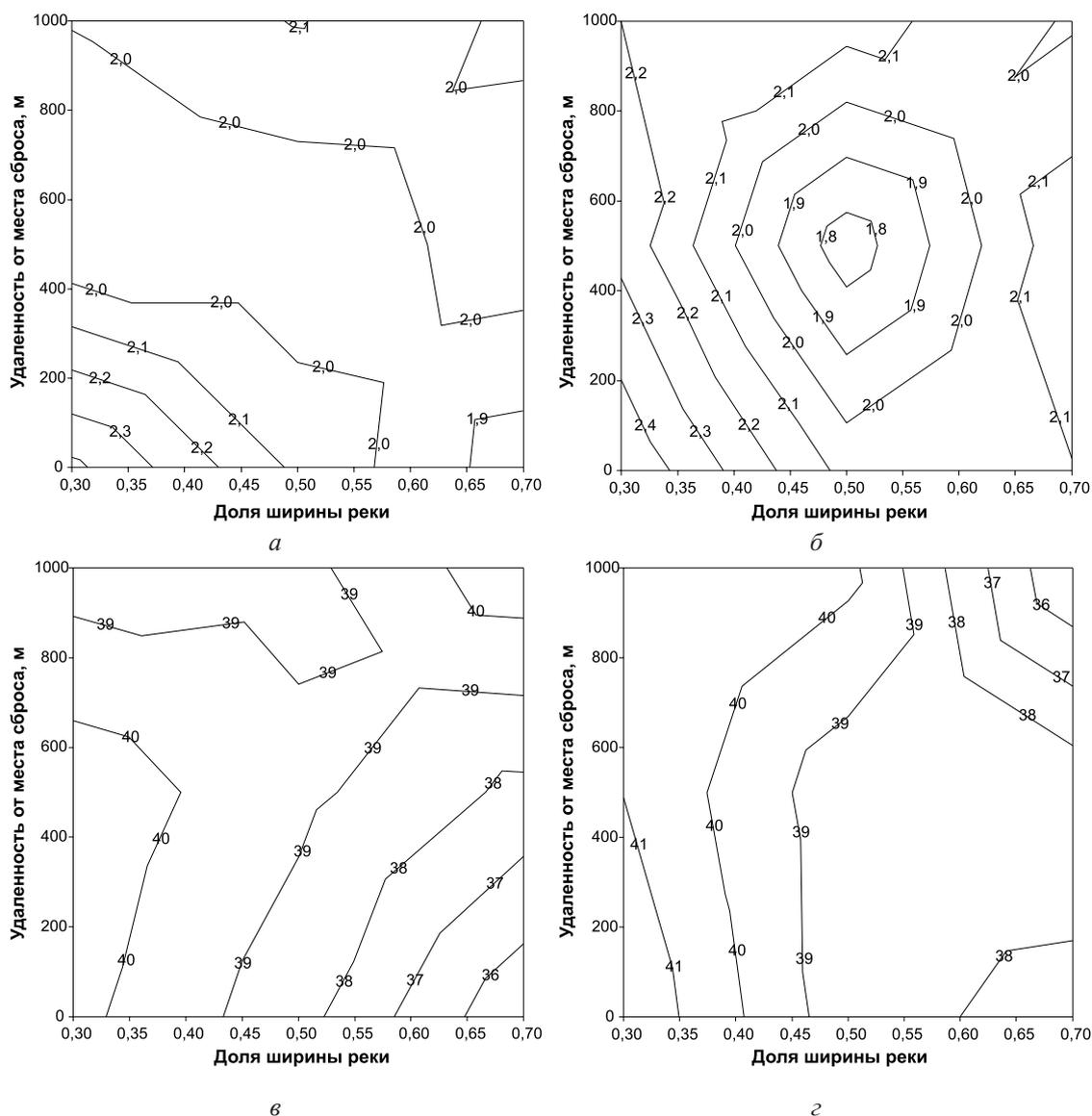


Рис. 3. Распределение полей концентрации лигнинных веществ C , мг/л (*a*, *б*) и значений ХПК, мг O_2/dm^3 (*в*, *г*) на исследуемом участке русла в зависимости от фазы приливо-отливного цикла: *a*, *в* – отлив; *б*, *г* – прилив; 0,3 – соответствует левой вертикали; 0,7 – правой; 0,5 – середине русла

пределения полей концентрации в пределах задействованной в рамках исследования площади водотока (рис. 3).

Анализ пространственного распределения концентрации отдельных примесей на рассматриваемом участке позволяет сделать вывод о локализации «пятна» загрязнения вдоль левого берега водотока. Граница зоны влияния сточных вод предприятия проходит по центру русла р. Северная Двина, в длину варьируется от 400 м и более.

Данные пространственного моделирования показывают, что максимальные значения ХПК наблюдаются у левого берега, снижение значений ХПК начинает фиксироваться на расстоянии 500–700 м ниже рассеивающего выпуска. Следует отметить повышение значений ХПК на удалении 1000 м (вертикаль у правого берега) в фазу отлива, что может быть связано с влиянием смывов с низкого правого берега и наличием хозяйственных объектов в непосредственной близости от точки наблюдения.

Распределение концентрации лигнинных веществ подчиняется общей тенденции, т.е. максимальные уровни наблюдаются у левого берега непосредственно у рассеивающего выпуска сточных вод, далее происходит быстрое снижение концентрации до фоновой (зона влияния сточных вод составляет 400 м ниже по течению).

В ходе исследований было установлено, что приливно-отливной характер устьевой области р. Северная Двина влияет на пространственное распределение концентрации компонентов по руслу. В фазу отлива протяженность зоны влияния ниже места сброса сточных вод минимальна и составляет порядка 400–500 м, во время прилива она возрастает до 700 м и более вследствие возмущающего действия нагонной волны.

Перенос разбавляемых сточных вод происходит в виде сравнительно узкого шлейфа вдоль левого берега приустьевого участка р. Северная Двина без его попадания в зону водозабора г. Архангельска.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды : справочные материалы / Гусева Т.В., Молчанова Я.П., Заика Е.А., Виниченко В.Н., Аверочкин Е.М. М.: ЭКОЛАЙН. 2000.
2. Криульков В.А., Каплин В.Т. Лигнин в природных водоемах // Гидрохимические материалы, 1968. Т. 46. С. 152–153.
3. Лейте В. Определение органических загрязнителей питьевых, природных и сточных вод / под ред. Ю.Ю. Лурье. М.: Химия, 1975. 198 с.
4. Мискевич И.В., Боголицын К.Г. Использование поверхностных вод на предприятиях лесохимического комплекса в условиях приливных устьев рек. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2002. 96 с.

Поступила 20.10.11

A.S. Pochtovalova¹, E.V. Shulgina¹, K.G. Bogolitsyn^{1,2}, T.V. Soboleva³

¹ Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

² Ural Division of RAS, Institute of ecological problems of the North

³ Arkhangelsk Pulp & Paper Mill

Characteristics of lignine substance content and chemical oxygen demand in the Severnaya Dvina River water at the area of Arkhangelsk Pulp&Paper Mill wastewater impact

Specificities of chemical composition of superficial water of the Severnaya Dvina River have been investigated. Characteristics of partitioning of concentration of lignine substance and integral chemical oxygen demand at the Arkhangelsk Pulp&Paper Mill wastewater outflow zone.

Key words: wastewater, superficial water, chemical oxygen demand, lignine substances.

УДК 544.362:544.353.2

М.В. Панфилова¹, Д.С. Косяков¹, Н.С. Горбова^{1,2}, К.Г. Боголицын^{1,2}

¹ Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

² Институт экологических проблем Севера УрО РАН

Панфилова Марина Викторовна родилась в 1989 г., окончила в 2011 г. Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, стажер-исследователь кафедры теоретической и прикладной химии Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова.
E-mail: m.panfilova@narfu.ru



Косяков Дмитрий Сергеевич родился в 1972 г., окончил в 1994 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат химических наук, доцент кафедры теоретической и прикладной химии Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет около 100 печатных работ в области химии лигнина и физикохимии неводных растворов.
E-mail: kosyakov@mail.ru



Горбова Наталья Сергеевна родилась в 1976 г., окончила в 1998 г. Архангельский государственный технический университет, кандидат химических наук, доцент кафедры теоретической и прикладной химии Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, ученый секретарь ИЭПС. Имеет более 50 печатных работ в области химии растворов лигнина.
Тел.: (8182) 21-89-48



КОНСТАНТЫ КИСЛОТНОСТИ СИРИНГИЛЬНЫХ ФЕНОЛОВ В СМЕСЯХ ВОДЫ С ДИМЕТИЛСУЛЬФОКСИДОМ И N,N-ДИМЕТИЛФОРМАМИДОМ*

Методом потенциометрического и спектрофотометрического титрования определены константы кислотности некоторых модельных соединений лигнина сирингильного ряда в смесях воды с ДМСО и ДМФА. Изучено влияние *n*-заместителей и растворителя на протолитические свойства родственных лигнину фенолов.

Ключевые слова: смешанный растворитель, диметилсульфоксид, N,N-диметилформамид, модельные соединения лигнина сирингильного ряда, константа кислотной ионизации.

Основной группой, определяющей кислотно-основные свойства и реакционную способность лигнинных соединений, является фенольная гидроксильная группа. Известно, что один из эффективных способов влияния на протолитические свойства фенолов – изменение состава растворителя, например использование смесей воды с апротонными растворителями [7]. К важным апротонным растворителям лигнина и родственных ему соединений относятся диметилсульфоксид (ДМСО), N,N-диметилформамид (ДМФА) и их смеси с водой. В связи с этим несомненно актуально изучение протолитических свойств лигнинов и родственных фенолов в данных средах. К настоящему времени константы кислотности (pK_a) гваяцильных фенолов в ДМСО, ДМФА и их бинарных смесях с водой определе-

© Панфилова М.В., Косяков Д.С., Горбова Н.С., Боголицын К.Г., 2012

* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 09-03-00809-а) и ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (Госконтракт № П995 от 27.05.2010). При выполнении работ использовалось оборудование ЦКП НО «Арктика» Северного (Арктического) федерального университета.

ны [3, 4], однако данные по pK_a синрингильных структур приводятся различными авторами только для водных растворов [8, 9]. Цель данной работы – определение констант кислотной ионизации ряда синрингильных фенолов, моделирующих структурные фрагменты макромолекулы лигнина в системах вода – ДМСО и вода – ДМФА, а также изучение влияния растворителя и структуры фенола на протолитические свойства.

В качестве объектов исследования нами выбраны 2,6-диметоксифенол (синрингол) и его *n*-производные: 4-метил-2,6-диметоксифенол, 4-гидрокси-3,5-диметоксибензальдегид (сиреневый альдегид), 4-гидрокси-3,5-диметоксибензойная кислота (сиреневая кислота), 3-(4-гидрокси-3,5-диметоксифенил)проп-2-еновая кислота (синаповая кислота), 4-гидрокси-3,5-диметоксиацетофенон (ацетосинрингон). Эти фенольные соединения использовали без дополнительной очистки в виде препаратов производства «Sigma-Aldrich» и «Fluka» с чистотой 98–99%.

Для определения pK_a использовали потенциометрическое и спектрофотометрическое титрование растворов модельных соединений концентрацией от 10^{-2} до 10^{-4} моль/л в растворителе гидроксиде тетраэтиламмония [5]. Определение проводили в стеклянной термостатированной при температуре $(25 \pm 0,1^\circ\text{C})$ ячейке и постоянном барботировании аргоном. Запись УФ-спектров осуществляли на спектрофотометре Specord-200 PC («Analytik Jena», Германия) в кварцевых односантиметровых кюветах. Спектр записывали в диапазоне длин волн от 250 до 350 нм со скоростью 5 нм/с. Для измерения pH использовали прецизионный иономер «Эксперт 001-1.-0.1» (ООО «Эконикс-Эксперт», г. Москва) с комбинированным стеклянным электродом ЭСК 10301/7, заполненным 3 М раствором KCl. Потенциометрическое титрование осуществляли с помощью автоматического титратора АТП-02 (ЗАО «Аквилон», г. Москва). Титрант добавляли автоматически, порциями по 50 мкл, вблизи точки эквивалентности по 10 мкл. Правильность калибровки титратора и иономера контролировали ежедневно.

Проанализировав кривую потенциометрического титрования, определяли точку эквивалентности расчетным методом. Для этого находили эквивалентный объем в точке эквивалентности, который соответствует максимуму на кривой первой производной. Константы кислотности фенольной гидроксильной группы определяли по формуле

$$pK_a = p a_{H^+} + \lg \frac{V_{\text{э}} - V}{V}, \quad (1)$$

где $p a_{H^+}$ – значение показателя активности протонов в данной среде;

$V_{\text{э}}$ – объем титранта в точке эквивалентности, мл;

V – объем добавленного титранта, мл.

Значение константы модельных соединений, определенной методом спектрофотометрического титрования рассчитывали по следующему уравнению:

$$pK_a = p a_{H^+} + \lg \frac{D_{\text{ш}} - D}{D - D_{\text{к}}}, \quad (2)$$

где D – оптическая плотность раствора при данной величине $p a_{H^+}$;

$D_{\text{ш}}$ – оптическая плотность раствора при $p a_{H^+}$, соответствующем полной ионизации фенольного гидроксила;

$D_{\text{к}}$ – оптическая плотность раствора при pH, соответствующем отсутствию ионизации фенольного гидроксила.

Оптические плотности измеряли при аналитической длине волны, соответствующей максимуму поглощения фенолят-аниона.

Показатель активности протонов p_{H^+} рассчитывали, добавляя к полученному инструментальному значению рН (показания иономера, откалиброванного по водным стандартам) поправку δ , учитывающую межфазный потенциал на границе водного и неводного растворов, а также энергию переноса протона из воды в данный растворитель [1, 2]:

$$p_{H^+} = pH - \delta.$$

Полученные результаты констант кислотности сирингильных фенолов приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Значения констант кислотности сирингильных фенолов в смесях воды при температуре 25°C

Соединение	Содержание фенола, % (масс.)										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Диметилсульфоксид											
сирингол	10,15	10,32	10,66	10,97	11,40	11,76	12,18	13,56	14,09	15,72	17,54
4-метил-2,6-диметоксифенол	10,48	10,78	11,00	11,34	11,65	12,08	12,75	13,44	14,77	16,25	18,38
сиреневый альдегид	7,39	7,44	7,58	7,71	7,92	8,24	8,53	9,08	9,82	10,97	12,06
ацетосирингон	7,90	7,88	8,05	8,21	8,55	8,86	9,22	9,83	10,63	11,73	13,48
сиреневая кислота (ОН _{фен})	9,29	9,55	9,75	10,12	10,53	10,96	11,54	12,32	13,49	14,89	17,17
синаповая кислота (ОН _{фен})	9,34	9,41	9,63	9,93	10,31	10,74	11,20	11,97	12,96	14,16	16,24
N,N-диметилформамид											
сирингол	10,15	10,43	10,78	10,89	11,38	11,78	12,31	12,98	14,04	15,83	18,75
4-метил-2,6-диметоксифенол	10,48	10,78	11,16	11,49	11,81	12,39	12,89	13,60	14,70	15,97	18,31
сиреневый альдегид	7,39	7,38	7,62	7,74	8,06	8,21	8,52	9,16	10,09	11,37	12,04
ацетосирингон	7,90	7,91	8,10	8,30	8,58	8,85	9,22	9,85	10,92	12,24	13,92
сиреневая кислота (ОН _{фен})	9,27	9,64	9,96	10,20	10,53	10,74	11,06	11,99	13,45	15,22	18,11
синаповая кислота (ОН _{фен})	9,35	9,58	9,77	10,02	10,31	10,49	10,79	11,65	12,89	14,65	16,00

Как показывают результаты статистической обработки экспериментальных данных, погрешность определения констант кислотности не превышает 0,05 ед. pK_a и, как правило, составляет 0,01–0,02 ед. pK_a . Константы кислотности всех исследованных соединений возрастают с увеличением содержания органического растворителя.

Сравнивая полученные значения констант кислотности фенольных гидроксильных групп модельных соединений сирингильного ряда со значениями констант кислотности гваяцильного ряда [3], можно сделать вывод, что *o*-метоксильная группа оказывает незначительное влияние на pK_a , что может быть связано с раз-

нонаправленным действием ее индуктивного эффекта и *орто*-эффекта.

Влияние растворителя на кислотность фенольных соединений тесно связано со свойствами *n*-заместителей. Наиболее сильно от состава растворителя зависит константа ионизаций соединений с неполярными заместителями в *n*-положении к фенольной гидроксильной группе (сирингол, 4-метил-2,3-диметоксифенол), а наименее подвержены эффектам среды кислые фенолы с электроно-акцепторными заместителями (сиреневый альдегид, ацетосирингон). Зависимость констант кислотности от мольной доли органического растворителя близка к линейной и ее можно описать уравнением

$$pK_a = pK_a^w + kx, \quad (3)$$

где pK_a^w – значение pK_a в водной среде;

x – мольная доля протонного растворителя в бинарной смеси;

k – угловой коэффициент.

Полученные константы уравнения (3) представлены в табл. 2.

Таблица 2

Эмпирические константы уравнения (3) зависимости pK_a гваяцильных соединений в водно-органических смесях от мольной доли апротонного растворителя

Соединение	Вода – ДМСО			Вода – ДМФА		
	pK_a^w	k	r^2	pK_a^w	k	r^2
сирингол	10,61	8,05	0,996	10,77	7,66	0,995
4-метил-2,6-диметоксифенол	10,45	8,35	0,999	10,40	8,92	0,999
сиреневый альдегид	7,30	5,11	0,996	7,29	5,27	0,985
ацетосирингон	7,75	5,94	0,999	7,68	6,44	0,996
сиреневая кислота ($OH_{фен}$)	9,39	8,22	0,999	9,16	8,90	0,989
синаповая кислота ($OH_{фен}$)	9,32	7,29	0,999	9,25	7,19	0,990

Примечание. r – коэффициент корреляции.

Значения угловых коэффициентов в прямых возрастают с ростом содержания в смешанном растворителе органической составляющей, что свидетельствует о дифференцирующем действии его на силу кислот.

Механизм дифференцирующего действия заключается в стабилизации за счет ион-дипольных взаимодействий в диполярных апротонных растворителях анионов с наибольшей степенью делокализации заряда [6]. Данный вывод, наряду

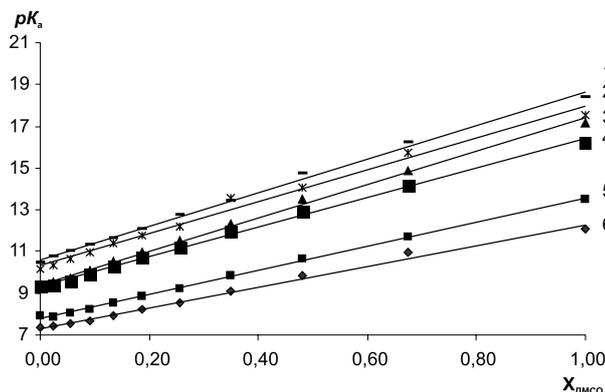


Рис. 1. Зависимость констант кислотной ионизации сирингильных фенолов от мольной доли органического растворителя в системе вода – ДМСО при 25°C: 1 – 4-метил-2,6-диметоксифенол; 2 – сирингол; 3 – сиреневая кислота; 4 – синаповая кислота; 5 – ацетосирингон; 6 – сиреневый альдегид

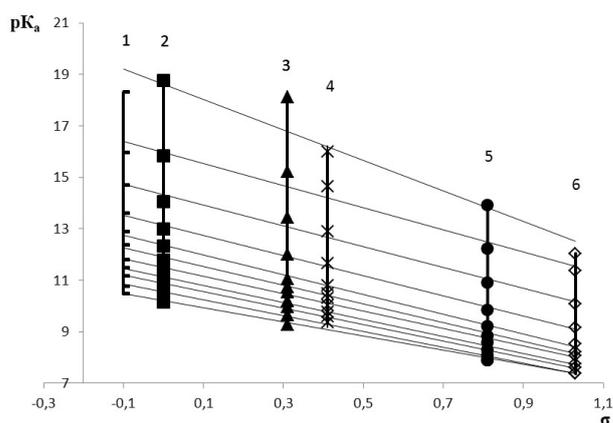


Рис. 2. Зависимость констант кислотной ионизации сирингильных фенолов в смесях воды с ДМФА от σ -констант *para*-заместителей (графики расположены в порядке возрастания содержания ДМФА от 0 до 100% снизу вверх; обозначения приведены на рис. 1)

с данными табл. 2, подтверждается наблюдаемой для всех составов растворителя четкой взаимосвязью констант кислотности с гамметовскими σ -константами заместителей в *para*-положении по отношению к фенольной гидроксильной группе. Эта взаимосвязь выражается уравнением Гаммета:

$$pK_a = pK_a^0 - \rho\sigma, \quad (4)$$

где pK_a^0 – константа диссоциации сирингола в данном растворителе.

Константы уравнения Гаммета (4), полученные для каждого состава растворителя при обработке данных по шести исследованным соединениям, представлены в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Константы уравнения (4) зависимости pK_a гваяцильных соединений в водно-органических смесях от σ -констант заместителей

Содержание растворителя, % (масс.)	ДМСО			ДМФА		
	pK_a^0	ρ	r^2	pK_a^0	ρ	r^2
0	10,22	2,74	0,989	10,21	2,74	0,988
10	10,45	2,98	0,991	10,54	3,05	0,986
20	10,71	3,09	0,993	10,88	3,20	0,991
30	11,06	3,29	0,991	11,12	3,28	0,986
40	11,45	3,40	0,989	11,49	3,37	0,992
50	11,87	3,49	0,985	11,91	3,66	0,996
60	12,44	3,74	0,981	12,37	3,82	0,997
70	13,40	4,16	0,981	13,14	3,91	0,996
80	14,43	4,39	0,975	14,34	4,05	0,982
90	15,93	4,81	0,982	15,97	4,29	0,956
100	18,07	5,51	0,958	18,61	5,51	0,923

Дифференцирующее действие растворителя на силу кислот можно охарактеризовать также с помощью зависимостей pK_a в растворителе от pK_a в воде. Данные зависимости имеют линейный характер. Значения полученных коэффициентов приведены в табл. 4.

О дифференцировании силы кислот свидетельствует коэффициент a , значение которого превышает единицу.

Сравнивая поведение гваяцильных и сирингильных фенолов, можно сделать вывод о близости их протолитических свойств и незначительном влиянии *ortho*-метоксильной группы на константу кислотности. За счет дифференцирующего действия апротонных растворителей различия между производными гваякола и 2,6-диметоксифенола при переходе от воды к чистому ДМСО или ДМФА возрастают.

Константы уравнений зависимости pK_a модельных соединений
в водно-органических смесях от pK_a в воде вида $pK_a^s = a \cdot pK_a^w - b$

Содержание растворителя, % (масс.)	ДМСО			ДМФА		
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r</i> ²	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r</i> ²
10	1,08	0,61	0,996	1,11	0,83	0,997
20	1,12	0,77	0,998	1,16	1,01	0,995
30	1,20	1,16	0,996	1,20	1,09	0,993
40	1,24	1,17	0,994	1,22	1,03	0,995
50	1,27	1,10	0,992	1,32	1,63	0,992
60	1,36	1,47	0,988	1,38	1,76	0,988
70	1,51	2,02	0,982	1,42	1,32	0,992
80	1,60	1,91	0,981	1,47	0,65	0,980
90	1,74	1,91	0,981	1,56	0,04	0,960
100	2,00	2,38	0,960	2,11	2,95	0,891

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров В.В. Кислотность неводных растворов. Харьков: Высш. шк., 1981. 152 с.
2. Бейтс Р. Определение pH / пер. с англ. Л.: Химия, 1968. 400 с.
3. Боголицын К.Г., Горбова Н.С., Косяков Д.С. Кислотно-основные свойства родственных лигнину фенолов в системе вода-апротонный растворитель // Журн. физ. химии, 2003. Т. 77. № 4. С. 667–671.
4. Боголицын К.Г., Косяков Д.С., Горбова Н.С. Термодинамические параметры кислотной ионизации фенолов гваяцильного ряда в системе вода – диметилсульфоксид // Журн. физ. химии, 2003. Т. 77. № 11. С. 1937–1939.
5. Горбова Н.С., Боголицын К.Г., Косяков Д.С. Разработка потенциометрического метода для определения констант ионизации модельных соединений лигнина в ДМСО и его смесях с водой // Лесн. журн. 2000. № 4. С. 111–116. (Изв. высш. учеб. заведений).
6. Мчедлов-Петросян Н.О. Дифференцирование силы органических кислот в истинных и организованных растворах. Харьков: Изд-во Харьков. нац. ун-та, 2004. 326 с.
7. Физическая химия лигнина: монография / под. ред. К.Г. Боголицына, В.В. Лунина. Архангельск: Изд-во Арх. гос. техн. ун-та, 2009. 489 с.
8. C.G. Nordstrom, J.J. Lindberg, L.J. Karumaa Thermodynamic ionization constants of some ortho-substituted Guaiacol Derivatives // Suomen. Kem. 1963. B. 36. N 5–6. S. 105–109.
9. Ragnar M., Lindgren C.T., Nilvebrant N.-O. pK_a -values of guaiacyl and syringyl phenols related to lignin // Journal of Wood Chemistry and Technology. 2000. Vol. 20. N 3. P. 277–305.

Поступила 20.10.11

M.V. Panfilova¹, D.S. Kosyakov¹, N.S. Gorbova^{1,2}, K.G. Bogolitsyn^{1,2}¹ Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov² Ural Division of RAS, Institute of ecological problems of the North**Acidity constants of syringil phenols in admixtures of water with dimethyl sulfoxide and N,N dimethyl formamide**

Acidity constants of certain model lignine associations of syringil set chain in admixtures of water with DMSO and DMFA determined by means of electrometric and spectrographic titration.. Influence of n-substituents and solvent on protolytic properties of lignine related forms has been investigated.

Key words: mixed solvent, dimethyl sulfoxide, N,N dimethyl formamide, model lignine associations of syringil set chain, acid ionization constant.



УДК 543.552:547.562

Н.Л. Иванченко¹, А.Н. Шкаев¹, Н.В. Шкаева¹, К.Г. Боголицын^{1,2}¹ Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова² Институт экологических проблем Севера УрО РАН

Иванченко Николай Леонидович родился в 1980 г., окончил в 2003 г. Архангельский государственный технический университет, доцент кафедры теоретической и прикладной химии. Имеет 19 печатных работ в области химии и химической технологии древесины.

Тел.: (8182) 21-89-48



Шкаев Андрей Николаевич родился в 1970 г., окончил в 1993 г. Архангельский лесотехнический институт, доцент кафедры теоретической и прикладной химии. Имеет 25 научных работ в области химии и химической технологии древесины.

Тел.: (8182) 21-89-48



Шкаева Наталья Викторовна родилась в 1969 г., окончила в 1991 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат химических наук. Имеет 20 научных работ в области химии и химической технологии древесины.

Тел.: (8182) 21-89-48



ХАРАКТЕРИСТИКА ЭФФЕКТОВ СОЛЬВАТАЦИИ МОДЕЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ СТРУКТУРНОГО ЗВЕНА ЛИГНИНА В ВОДНО-ЭТАНОЛЬНЫХ СРЕДАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИИ*

Методом циклической вольтамперометрии исследовано влияние природы растворителя на электрохимические свойства модельных соединений лигнина в смешанных водно-этанольных средах. Рассчитаны коэффициенты диффузии для гваякола, ванилина, ванилинового спирта, ацетованилона, вератрола и сиреневого альдегида в зависимости от состава растворителя. Из экспериментальных данных коэффициентов диффузии по уравнению Стокса–Эйнштейна определены радиусы сольватированных частиц. Рассчитана толщина сольватной оболочки для представленных модельных соединений лигнина в водно-этанольных средах.

Ключевые слова: вольтамперометрия, модельные соединения лигнина, сольватация, коэффициент диффузии, вращающийся дисковый электрод, водно-этанольная среда.

Создание новых способов комплексной химической переработки лигно-содержащих материалов, таких как модифицирование и переработка лигно-содержащего сырья и продуктов деструкции лигнина с применением различных растворителей, предполагает глубокое изучение протекающих при этом химических процессов, механизм которых в значительной степени обусловлен редокс-

© Иванченко Н.Л., Шкаев А.Н., Шкаева Н.В., Боголицын К.Г., 2012

* Работа выполнена в Центре коллективного пользования научным оборудованием «Арктика» Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ, ГК от 29 апреля 2011 г. № 16.552.11.7023.

превращениями лигнина. При этом в качестве технологических растворов широко используются водно-спиртовые среды. Смешанный растворитель, выступая в качестве активного химического агента, влияет на реакционную способность лигнина, предопределяя механизм и кинетику окислительно-восстановительных взаимодействий. Поэтому изучение сольватационных эффектов в водно-спиртовых средах и влияние их на изменение реакционной способности лигнинных соединений позволит расширить теоретические представления об их физико-химических свойствах. Наиболее перспективным методом характеристики окислительно-восстановительных свойств лигнина и модельных соединений его структурного звена в смешанных растворителях является циклическая вольтамперометрия. Использование вольтамперометрии на данном этапе в химии лигнина затруднено, прежде всего, сложностью функциональной природы изучаемого объекта. Кроме того, большинство органических соединений нерастворимо либо плохо растворимо в воде и вольтамперометрическое изучение этих веществ можно проводить лишь в неводных или смешанных растворах, таких как вода–ДМФА, вода–спирт (метанол, этанол, пропанол, бутанол), к тому же обладающих делигнифицирующей способностью.

Для того чтобы раскрыть возможности того или иного физико-химического метода, в том числе и вольтамперометрии, применительно к изучению такого сложного соединения, как лигнин, прежде всего, необходимо выяснить, какие функциональные группы, связи или структурные фрагменты его полифункциональной макромолекулы способны давать отклик в условиях данного метода. Поскольку основу вольтамперометрии составляют, как известно, главным образом реакции электрохимического восстановления и окисления на платиновом и графитовом электродах, то в данном случае требуется получить информацию о реакционных центрах молекулы лигнина в таких реакциях.

Развитие теории смешанных растворов, в частности более глубокое понимание сольватации – важнейшего явления в химии неводных растворов, служит надежным ориентиром при выборе среды для проведения химических реакций, позволяет прогнозировать свойства сложных систем по их молекулярным характеристикам.

Учитывая сложное строение изучаемого объекта, для начала следует исследовать модельные соединения структурного звена лигнина, содержащие отдельные типы функциональных групп лигнина, потенциально способные к окислительно-восстановительным реакциям на твердых электродах.

Достаточная простота в конструкции аппаратуры метода вольтамперометрии и высокая точность измерения экспериментально определяемых величин, делают этот метод одним из самых надежных и точных для определения коэффициентов диффузии различных частиц в растворах. Такими частицами в кислой среде являются молекулы модельных соединений структурного звена лигнина. На основании полученных значений коэффициентов диффузии можно оценить объем сольватированных частиц и толщину сольватной оболочки в различных растворителях. Эти данные могут дать полезную информацию для более полного представления о механизме и кинетике процессов, протекающих в смешанных растворителях.

В связи с вышесказанным, приоритетной задачей наших исследований является изучение характеристики влияния сольватационных эффектов на реакционную способность модельных соединений структурного звена лигнина в редокс-превращениях в кислых водно-этанольных средах с применением метода вольтамперометрии на платиновом электроде. Для этого необходимо определить характе-

ристические параметры эффектов сольватации (коэффициент диффузии, радиус сольватированной молекулы) в водно-этанольной среде во всем диапазоне состава смешанного растворителя вода-этанол (0% об.–90% об.).

Коэффициенты диффузии определяли по уравнению предельного тока для вращающегося дискового электрода:

$$I_{пред} = 0,62 n A F c_0 D^{2/3} \nu_k^{-1/6} \omega^{1/2}, \quad (1)$$

где A – площадь вращающегося дискового электрода, $см^2$;

c_0 – концентрация субстрата в объеме раствора, $моль/см^3$;

n – число электронов, участвующих в электрохимической реакции;

D – коэффициент диффузии, $см^2/с$;

ν_k – кинематическая вязкость, $см^2/с$;

ω – угловая скорость вращения, $рад/с$;

F – постоянная Фарадея, $F = 96485$ Кл·моль⁻¹.

Использование стационарного режима в вольтамперометрии позволяет графически определять из вольтамперной кривой число электронов, участвующих в электрохимической реакции на электроде. Методика определения описана ранее [2]. Анализ анодных волн окисления полученных вольтамперограмм для определения числа электронов, участвующих в электроокислении исследуемых соединений на платиновом электроде, позволил установить, что количество электронов равно двум (рис. 1).

Предельный ток определяли непосредственно из вольтамперной кривой для каждой скорости вращения электрода, а кинематическую вязкость раствора принимали равной вязкости смешанного растворителя по справочным данным.

При соблюдении одинаковых условий эксперимента, в частности постоянной концентрации, предельный ток будет зависеть только от скорости вращения электрода. Согласно уравнению (1) должна наблюдаться линейная зависимость между значениями $I_{пред}$ и $\omega^{1/2}$, при этом значения коэффициентов диффузии не должны зависеть от скорости вращения электрода.

По полученным из вольтамперограмм экспериментальным значениям предельных токов окисления для исследуемых соединений по уравнению (1) рассчитаны коэффициенты диффузии в зависимости от концентрации этанола в растворе при электрохимическом окислении на вращающемся платиновом электроде. Установлено, что наблюдаются две тенденции изменения данных зависимостей (рис. 2). Для гваякола и вератрола зависимость коэффициентов диффузии от состава растворителя проходит через минимальное значение при 60% об. этанола. Для остальных исследованных соединений, за исключением сиреневого альдегида, данная зависимость проходит через минимум в области концентрации 20% об. этанола.

Данный характер изменения зависимости коэффициентов диффузии от состава растворителя объясняется перестройкой сольватной оболочки, которая происходит при переходе от водных растворов к спиртовым растворам и возможностью внедрения образующихся в растворе ассоциатов в сольватную оболочку молекулы модельных соединений структурного звена лигнина.

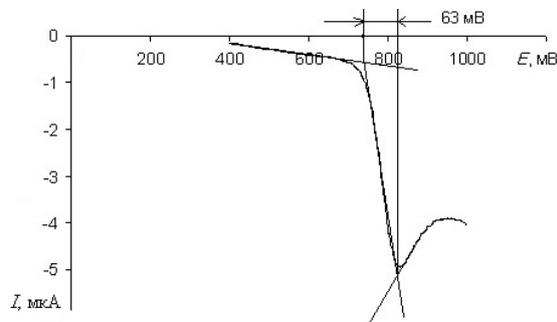


Рис. 1. Определение числа электронов, участвующих в электродной реакции, на примере вольтамперограммы гваякола (стационарный Pt-электрод, скорость развертки потенциала 100 мВ/с) в кислой среде по методу Штакельберга

В классической теории диффузии коэффициент диффузии D определяется уравнением Стокса–Эйнштейна:

$$D = \frac{kT}{6\pi r \eta}, \quad (2)$$

где k – постоянная Больцмана, Дж/К;

T – температура, К;

r – радиус молекулы, м;

η – динамическая вязкость раствора, Па·с.

С некоторыми допущениями его можно применить как для расчета радиуса сольватированных молекул по экспериментальным значениям коэффициентов диффузии, так и для расчета теоретических коэффициентов диффузии несольватированных молекул модельных соединений лигнина, исходя из их геометрических размеров или из допущения, что молекула представляет собой жестко-упругую сферу (табл.).

Следует отметить, что полученные экспериментальные значения радиусов сольватированных частиц являются усредненными величинами и отражают тенденцию изменения величины сольватной оболочки от состава смешанного растворителя вода–этанол.

Так как радиус частицы обратно пропорционален коэффициенту диффузии, то, соответственно, тенденция изменения толщины сольватной оболочки будет обратной. Поэтому изменение радиуса сольватированных частиц также объясняется перестройкой сольватной оболочки на основании теории преимущественной сольватации, согласно которой в сольватной оболочке возможно присутствие водно-спиртовых ассоциатов, структура и состав которых зависят от концентрации смешанного растворителя, а также от природы и структуры растворенного вещества.

Экспериментальные значения коэффициентов диффузии $D \pm 0,03 \cdot 10^{-10}$ (м²/с) и радиусов сольватированных частиц $r \pm 0,03$ (нм) модельных соединений структурного звена лигнина в смешанном растворителе вода–этанол

Конц. этанола, % об.	Гваякол		Ванилин		Ванилиновый спирт		Ацетованилон		Вератрол		Сиреневый альдегид	
	$D \cdot 10^{10}$, м ² /с	r , нм	$D \cdot 10^{10}$, м ² /с	r , нм	$D \cdot 10^{10}$, м ² /с	r , нм	$D \cdot 10^{10}$, м ² /с	r , нм	$D \cdot 10^{10}$, м ² /с	r , нм	$D \cdot 10^{10}$, м ² /с	r , нм
0	3,20	0,77	1,99	1,23	1,22	1,99	0,36	1,59	–	–	–	–
10	2,97	0,60	1,80	0,99	0,57	3,13	1,16	1,55	4,76	0,39	4,20	0,44
20	2,56	0,51	0,90	1,45	0,52	2,52	0,72	1,81	3,60	0,44	3,08	0,50
30	2,17	0,50	0,82	1,32	0,52	2,06	0,74	1,45	3,47	0,40	3,40	0,41
40	2,34	0,42	0,98	1,00	0,73	1,34	0,75	1,31	3,13	0,44	3,06	0,45
50	1,68	0,56	1,37	0,68	0,96	0,97	0,78	1,20	2,74	0,52	3,19	0,45
60	1,35	0,70	1,09	0,87	1,15	0,82	0,93	1,01	1,76	0,90	3,20	0,50
70	1,72	0,59	1,30	0,78	1,06	0,95	0,82	1,23	2,82	0,66	3,70	0,50
80	2,34	0,49	–	–	1,23	0,94	0,86	1,34	2,57	0,87	4,48	0,50
90	3,30	0,44	–	–	1,41	1,03	1,08	1,34	1,94	1,51	4,37	0,67

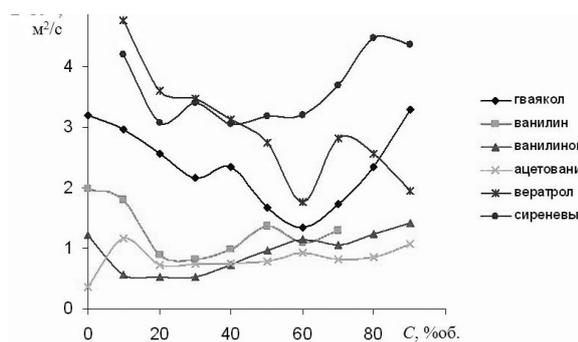


Рис. 2. Зависимость коэффициентов диффузии модельных соединений структурного звена лигнина от содержания в растворе этилового спирта

Достаточно большой размер сольватированных частиц заставляет несколько критически оценивать полученные значения, тем не менее, в некоторых работах рассматривались дискретные системы, содержащие 200–300 молекул растворителя (метод Монте-Карло с атом-атомными потенциалами). Такие большие кластеры пригодны для описания как специфического, так и неспецифического взаимодействия растворенного соединения с растворителем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Боголицын К.Г.* Исследование влияния состава растворителя на окисление ванилина и гваякола на платиновом электроде / К.Г. Боголицын, Н.Л. Иванченко, Е.Ф. Потапова, А.Н. Шкаев // Химия растительного сырья, 2006. № 1 (36). С. 11–14.

2. *Иванченко Н.Л.* Изучение сольватации гваякола в водно-этанольных средах методом вольтамперометрии / Н.Л. Иванченко, К.Г. Боголицын, А.Н. Шкаев, Е.Ф. Потапова // Изв. вузов, Лесн. журнал, 2007. № 2. С. 118–123.

Поступила 20.10.11

N.L. Ivanchenko¹, A.N. Shkayev¹, N.V. Shkayeva¹, K.G. Bogolitsyn^{1,2}

¹ Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

² Ural Division of RAS, Institute of ecological problems of the North

Comparison characteristics of solvation effects of structural lignine link model compounds in water-ethanol medium

Effect of solvent nature on electrochemical properties of lignine model links has been studied by the means of cyclic voltamperometry in assorted water-ethanol mediums. Diffusion coefficients for guaiacol, vanillin, vanillin spirit, acetovanilon, veratrol and lilac-colored aldehyde in various solvents are computed. Using the Stokes-Einstein equation, radiuses of solvated particles and capsules thickness are evaluated.

Key words: voltamperometry, lignine model bonds, solvation, coefficient of diffusion, rotating disc electrode, water-ethanol medium.