

ISSN 0536-1036

DOI: 10.17238/issn0536-1036

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

Лесной журнал

Научный рецензируемый журнал

Основан в 1833 г.
Издается в серии ИВУЗ с 1958 г.
Выходит 6 раз в год

4/364

2018

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

МЕЛЕХОВ В.И. – гл. редактор, д-р техн. наук, проф. (Россия, Архангельск)
БАБИЧ Н.А. – зам. гл. редактора, д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Архангельск)
БОГОЛИЦЫН К.Г. – зам. гл. редактора, д-р хим. наук, проф. (Россия, Архангельск)
АНГЕЛЬСТАМ П. – зам. гл. редактора по европейскому направлению, д-р наук, проф. (Швеция, Скиннскаттеберг)
КОМАРОВА А.М. – отв. секретарь, канд. с.-х. наук (Россия, Архангельск)

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

Бессчетнов В.П., д-р биол. наук, проф. (Россия, Нижний Новгород)
Билей П.В., д-р техн. наук, проф., акад. ЛАН Украины (Украина, Львов)
Богданович Н.И., д-р техн. наук, проф. (Россия, Архангельск)
Ван Хайнинген А., д-р наук, проф. (США, Ороно)
Воронин А.В., д-р техн. наук, проф. (Россия, Петрозаводск)
Ефремова С.В., д-р техн. наук, проф. (Республика Казахстан, Алматы)
Залесов С.В., д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Екатеринбург)
Камусин А.А., д-р техн. наук, проф. (Россия, Москва)
Кищенко И.Т., д-р биол. наук, проф. (Россия, Петрозаводск)
Кожухов Н.И., д-р экон. наук, проф., акад. РАН (Россия, Москва)
Куров В.С., д-р техн. наук, проф. (Россия, Санкт-Петербург)
Лупашку Т.Г., д-р хим. наук, проф., акад. АНМ (Республика Молдова, Кишинев)
Малыгин В.И., д-р техн. наук, проф. (Россия, Северодвинск)
Матвеева Р.Н., д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Красноярск)
Мерзленко М.Д., д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Москва)
Моисеев Н.А., д-р с.-х. наук, проф., акад. РАН (Россия, Москва)
Мясищев Д.Г., д-р техн. наук, проф. (Россия, Архангельск)
Наквасина Е.Н., д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Архангельск)
Нимц П., д-р наук, проф. (Швейцария, Цюрих)
Обливин А.Н., д-р техн. наук, проф. (Россия, Москва)
Онегин В.И., д-р техн. наук, проф. (Россия, Санкт-Петербург)
Памфилов Е.А., д-р техн. наук, проф. (Россия, Брянск)
Романов Е.М., д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Йошкар-Ола)
Сакса Т., д-р с.-х. наук, ст. науч. сотр. (Финляндия, Хельсинки)
Санаев В.Г., д-р техн. наук, проф. (Россия, Москва)
Селиховкин А.В., д-р биол. наук, проф. (Россия, Санкт-Петербург)
Сергеевичев В.В., д-р техн. наук, проф. (Россия, Санкт-Петербург)
Сёренсен У.Я., д-р наук, проф. (Норвегия, Стейнхьер)
Сигурдссон Б.Д., д-р наук, проф. (Исландия, Хваннейри)
Тараканов А.М., д-р с.-х. наук, гл. науч. сотр. (Россия, Архангельск)
Тельшева Г.М., д-р хим. наук, проф. (Латвия, Рига)
Усольцев В.А., д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Екатеринбург)
Хабаров Ю.Г., д-р хим. наук, проф. (Россия, Архангельск)
Хакимова Ф.Х., д-р техн. наук, проф. (Россия, Пермь)
Холуша О., д-р наук, проф. (Чехия, Брно)
Черная Н.В., д-р техн. наук, проф. (Белоруссия, Минск)
Черных В.Л., д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Йошкар-Ола)
Ширнин Ю.А., д-р техн. наук, проф. (Россия, Йошкар-Ола)
Штукин С.С., д-р с.-х. наук, проф. (Белоруссия, Минск)
Энгельманн Х.-Д., д-р инж. наук, проф. (Германия, Эмден)

ISSN 0536-1036

DOI: 10.17238/issn0536-1036

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF THE RUSSIAN FEDERATION

NORTHERN (ARCTIC) FEDERAL UNIVERSITY
NAMED AFTER M.V. LOMONOSOV

BULLETIN
OF HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTIONS

Lesnoy Zhurnal

(Forestry journal)

Scientific peer-reviewed journal

Established in 1833
Issued as part of the
“Bulletin of Higher Educational Institutions” since 1958
Published 6 times a year

4/364

2018

PUBLISHER: NORTHERN (ARCTIC)
FEDERAL UNIVERSITY NAMED AFTER M.V. LOMONOSOV

EDITORIAL STAFF:

MELEKHOV V.I. – Editor-in-Chief, Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Arkhangelsk)
BABICH N.A. – Deputy Editor-in-Chief, Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Arkhangelsk)
BOGOLITSYN K.G. – Deputy Editor-in-Chief, Doctor of Chemistry, Prof. (Russia, Arkhangelsk)
ANGELSTAM P. – Deputy Editor-in-Chief of the European department, PhD, Prof. (Sweden, Skinnskatteberg)
KOMAROVA A.M. – Executive Secretary, Candidate of Agriculture (Russia, Arkhangelsk)

MEMBERS OF THE EDITORIAL STAFF:

Besschetnov V.P., Doctor of Biology, Prof. (Russia, Nizhny Novgorod)
Biley P.V., Doctor of Engineering, Prof., Member of the Forest Academy of Sciences of Ukraine (Ukraine, Lviv)
Bogdanovich N.I., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Arkhangelsk)
Van Heiningen A., PhD, Prof. (USA, Orono)
Voronin A.V., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Petrozavodsk)
Efremova S.V., Doctor of Engineering, Prof. (Republic of Kazakhstan, Almaty)
Zalesov S.V., Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Yekaterinburg)
Kamusin A.A., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Moscow)
Kishchenko I.T., Doctor of Biology, Prof. (Russia, Petrozavodsk)
Kozhukhov N.I., Doctor of Economics, Prof., Member of the Russian Academy of Sciences (Russia, Moscow)
Kurov V.S., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Saint Petersburg)
Lupascu T.G., Doctor of Chemistry, Prof., Member of the Academy of Sciences of Moldova (Republic of Moldova, Chisinau)
Malygin V.I., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Severodvinsk)
Matveeva R.N., Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Krasnoyarsk)
Merzlenko M.D., Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Moscow)
Moiseev N.A., Doctor of Agriculture, Prof., Member of the Russian Academy of Sciences (Russia, Moscow)
Myasishchev D.G., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Arkhangelsk)
Nakvasina E.N., Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Arkhangelsk)
Niemz P., PhD, Prof. (Switzerland, Zurich)
Oblivin A.N., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Moscow)
Onegin V.I., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Saint Petersburg)
Pamfilov E.A., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Bryansk)
Romanov E.M., Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Yoshkar-Ola)
Saksa T., Doctor of Agriculture, Senior Researcher (Finland, Helsinki)
Sanaev V.G., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Moscow)
Selikhovkin A.V., Doctor of Biology, Prof. (Russia, Saint Petersburg)
Sergeevichev V.V., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Saint Petersburg)
Sørensen O.J., PhD, Prof. (Norway, Steinkjer)
Sigurðsson B.D., PhD, Prof. (Iceland, Hvanneyri)
Tarakanov A.M., Doctor of Agriculture, Chief Research Scientist (Russia, Arkhangelsk)
Telysheva G.M., Doctor of Chemistry, Prof. (Latvia, Riga)
Usol'tsev V.A., Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Yekaterinburg)
Khabarov Yu.G., Doctor of Chemistry, Prof. (Russia, Arkhangelsk)
Khakimova F.Kh., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Perm)
Holuša O., PhD, Prof. (Czech Republic, Brno)
Chernaya N.V., Doctor of Engineering, Prof. (Belarus, Minsk)
Chernykh V.L., Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Yoshkar-Ola)
Shirnin Yu.A., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Yoshkar-Ola)
Shtukin S.S., Doctor of Agriculture, Prof. (Belarus, Minsk)
Engelmann H.-D., Doctor of Engineering, Prof. (Germany, Emden)



СОДЕРЖАНИЕ

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

<i>P. Angelstam, S. Pedersen, M. Manton.</i> Macroecological Research in Boreal Forest Reveals the Effects of Moose on Economically and Ecologically Important Tree Species.....	9
<i>В.П. Иванов, С.И. Марченко, И.Н. Глазун, Д.И. Нартов.</i> Оценка влияния морфометрических параметров шишек на качество семенного материала сосны обыкновенной.....	19
<i>М.Д. Мерзленко, Ю.Б. Глазунов, Ю.Г. Львов, Е.А. Перевалова.</i> Динамика роста сосны в старовозрастных древостоях сложного бора.....	31
<i>А.А. Добровольский.</i> Некоторые особенности нормативно-правовых документов, регламентирующих проектирование на лесных участках.....	40
<i>Д.Н. Клевцов, О.Н. Тюкавина, Д.М. Адаи.</i> Биоэнергетический потенциал надземной фитомассы культур сосны обыкновенной таежной зоны.....	49
<i>В.П. Бессчетнов, Е.Ж. Кентбаев.</i> Опыт зеленого черенкования облепихи крушиновидной в условиях юго-востока Казахстана.....	56
<i>Б.Т. Мамбетов, Н.С. Келгенбаев, Б.Д. Майсупова, Д.А. Досманбетов, Ж.С. Дукенов.</i> К методике оценки естественного возобновления ели Шренка в условиях горных лесов Северного Тянь-Шаня.....	63
<i>Е.А. Мариничев.</i> Результаты рубок ухода на осушаемых землях Вологодской области.....	70
<i>Л.М. Гусева.</i> Распределение запасов древесных отходов из крон на территории лесного фонда Нижегородской области.....	79

ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

<i>Н.Н. Теринов, Э.Ф. Герц, А.В. Мехренцев.</i> Применение природосберегающих технологий на проходных рубках в Уральском учебном опытном лесхозе УГЛТУ.....	87
<i>М.М. Умаров, А.В. Скрыпников, Д.В. Ломакин, Е.Ю. Микова.</i> Расчет плановых элементов клотоидной трассы, подобранной на стереомодели местности...	97

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

<i>В.Р. Фергин.</i> Развитие теории раскря пиловочного сырья.....	107
<i>Ю.В. Немировский, А.И. Болтаев.</i> Особенности деформирования и разрушения гибридных брусьев из древесины.....	118
<i>Н.Б. Баланцева, В.И. Мелехов, О.А. Калиничева.</i> Совершенствование метода расчета процесса конвективной сушки пиломатериалов.....	132

ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

<i>К.Н. Чу, А.А. Спицын, К.А. Романенко, Д.А. Пономарев.</i> Парогазовая активация древесного угля из бамбука.....	140
<i>М.А. Архилин, Н.И. Богданович, С.В. Ефремова.</i> Синтез магнитовосприимчивых адсорбентов на основе гидролизного лигнина с использованием оксида железа(III).....	150

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

А.С. Аксенов, Н.А. Кузьмина. Бактериальные эндофиты тополя..... 161

ПАМЯТИ УЧЕНЫХ

Н.А. Моисеев. К 90-летию со дня рождения лесом призванного выдающегося писателя В.А. Чивилихина (1928–1984 гг.)..... 167



CONTENTS

FORESTRY

- P. Angelstam, S. Pedersen, M. Manton.* Macroecological Research in Boreal Forest Reveals the Effects of Moose on Economically and Ecologically Important Tree Species..... 9
- V.P. Ivanov, S.I. Marchenko, I.N. Glazun, D.I. Nartov.* Impact Assessment of Morphometric Characteristics of Cones on the Quality of Scots Pine Seed Material.. 19
- M.D. Merzlenko, Yu.B. Glazunov, Yu.G. L'vov, E.A. Perevalova.* Pine Growth Dynamics in Old-Aged Stands of a Multi-Storeyed Coniferous Forest..... 31
- A.A. Dobrovolskiy.* Some Features of Legal Design Documents for Forest Plots..... 40
- D.N. Klevtsov, O.N. Tyukavina, D.M. Adai.* Bioenergy Potential of Aerial Phytomass of Scots pine in the Middle Taiga Forest Region..... 49
- V.P. Besschetnov, E.Zh. Kentbaev.* Propagation of Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) by Herbaceous Cuttings in a Climate of South-East Kazakhstan.... 56
- B.T. Mambetov, N.S. Kelgenbaev, B.D. Maysupova, D.A. Dosmanbetov, Zh.S. Dukenov.* On the Evaluation Technique of Natural Regeneration of Schrenk's spruce (*Picea schrenkiana*) in Mountain Forests of the Northern Tien Shan..... 63
- E.A. Marinichev.* The Results of Thinning on Drain Lands of the Vologda Region..... 70
- L.M. Guseva.* Distribution of Reserves of Wood Waste from Crowns in the Forest Fund of the Nizhny Novgorod Region..... 79

WOOD EXPLOITATION

- N.N. Terinov, E.F. Gerts, A.V. Mekhrentsev.* Sustainable Technologies at Severance Cuttings in the Ural Training Experimental District Forestry of the Ural State Forest Engineering University..... 87
- M.M. Umarov, A.V. Skrypnikov, D.V. Lomakin, E.Yu. Mikova.* Calculation of Planned Elements of a Clothoid Route Composed on the Terrain Stereomodel..... 97

MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOOD SCIENCE

- V.R. Fergin.* Development of the Sawing Process Theory..... 107
- Yu.V. Nemirovskiy, A.I. Boltaev.* Features of Deformation and Destruction of Hybrid Timber Beams..... 118
- N.B. Balantseva, V.I. Melekhov, O.A. Kalinicheva.* Improvement of the Analysis Technique of the Convective Lumber Drying Process..... 132

CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD

- Cong Nghi Chu, A.A. Spitsyn, K.A. Romanenko, D.A. Ponomarev.* Steam Charcoal Activation from Bamboo..... 140
- M.A. Arkhilin, N.I. Bogdanovich, S.V. Efremova.* Synthesis of Magneto-Susceptible Adsorbents on the Basis of Hydrolytic Lignin Using Iron (III) Oxide..... 150

SUMMARIES AND EXCHANGE OF TEACHING

A.S. Aksenov, N.A. Kuz'mina. Bacterial Endophytes of Poplar..... 161

IN MEMORY OF SCIENTISTS

*N.A. Moiseev. To the 90th Anniversary of the Birth of the Leading Writer
V.A. Chivilikhin (1928–1984).....* 167



UDC 630*451

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.9

MACROECOLOGICAL RESEARCH IN BOREAL FOREST REVEALS THE EFFECTS OF MOOSE ON ECONOMICALLY AND ECOLOGICALLY IMPORTANT TREE SPECIES**Per Angelstam^{1,2}, PhD, Professor**Simen Pedersen², Associate Professor**Michael Manton³, Research Officer*

¹Swedish University of Agricultural Sciences, PO Box 43, SE-739 21, Skinnskatteberg, Sweden; e-mail: per.angelstam@slu.se

²Inland Norway University of Applied Sciences, Campus Evenstad, N-2480, Koppang, Norway; e-mail: simen.pedersen@inn.no

³Institute of Forest Biology and Silviculture, Aleksandras Stulginskis University, Studentu, 13, Akademija, Kauno, LT-53362, Lithuania; e-mail: michael.manton@asu.lt

How to manage the impact of a large moose population on the economically important Scots pine, and on ecologically important mature aspen, rowan and willow trees as habitat for lichen, moss, insect and bird species, are hot topics in Fennoscandia for forest and wildlife managers. To understand if the study design affects conclusions about the impact of moose browsing damage on young trees of economic and ecological importance we used three macroecological approaches: (1) a comparison of Swedish forest landscapes managed for intensive coniferous wood production, (2) a natural experiment approach that compared forests with different abundance of moose in Sweden, and (3) a comparison of browsing damage across six countries in northern Europe from Norway in the west to Russia in the east. The results show that Sweden had high moose densities across all landscapes studied, high overall rates of browsing damage, and therefore a weak relationship between moose density and browsing damages. A comparison between managed forest landscapes and urban forest areas, which are less accessible to moose, showed a clear effect of moose density on tree damage of both economically and ecologically important tree species. Finally, across 10 landscapes in Sweden, Norway, Finland, Latvia, Belarus and Russia we found that moose had a strong effect on damage to both groups of tree species. Research design affects the conclusions about the role of moose density for browsing damage on economically and ecologically valuable tree species. Macroecological studies in landscapes, representing different contexts on the European continent's West and East, form a valuable approach to produce new knowledge. We discuss the need for integration of the management of moose and their predators (including man) as well as forest management and biodiversity conservation planning.

Keywords: boreal forest, moose, biodiversity conservation, forest landscape management, green infrastructure, landscape restoration, macroecology, spatial planning trophic interactions.

Sustainable forest management (SFM) policy aims at satisfying economic, ecological and social pillars of sustainability. Implementing this is not straightforward

*We acknowledge FORMAS (grant number 2011-1737) for funding this research.

For citation: Angelstam P., Pedersen S., Manton M. Macroecological Research in Boreal Forest Reveals the Effects of Moose on Economically and Ecologically Important Tree Species. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2018, no. 4, pp. 9–18. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.9

because different actors focus on different benefits, and often have different perspectives, knowledge and power. Seemingly simple matters may actually turn out to be complex with many interacting factors. Forest landscapes with different land use histories provide opportunity to produce new knowledge about trade-offs between different SFM dimensions in an innovative manner [3]. The term macroecology captures this [9]. Using this approach, Angelstam et al. [5] and Naumov et al. [15] demonstrate that economic and ecological benefits of forest landscapes are negatively related to each other along the gradient from short to long histories of management towards forestry intensification in the Baltic Sea Region and NW Russia. Similarly, it has been shown [11, 13] that legacies of societal steering affect the regionally desired styles of governance. Such comparative studies illustrate the opportunity of learning about how to accommodate all SFM dimensions, and to deal with trade-offs among them [20] through governance, planning and management of entire landscapes as coupled social and ecological systems [16].

The long history of use and gradual transformation of Fennoscandia's forest landscapes has led to high and effective wood production of high economic value, but also loss of natural forest properties as old deciduous trees of ecological value [5, 15]. Additionally, modification of ecosystem processes such as reduction of fire and flooding, and the presence of a large herbivore population makes restoration of naturally occurring tree species preferred by moose as food difficult, but also wood production based on tree species preferred by moose (*Alces alces*). The impact of moose to economically (Scots pine (*Pinus sylvestris*)) and ecologically important tree species preferred by moose (aspen (*Populus tremula*), rowan (*Sorbus aucuparia*), willow (*Salix* sp.) and oak (*Quercus robur*)) is a good example. The mechanism is as follows: forest using clear-felling systems and large herbivore management actions, as well as loss of large carnivores such as wolf and brown bear, lead to increased population densities of large herbivores such as moose. This may lead to subsequent cascading effects on species, habitats and processes in forest landscapes. Therefore, the interactions among trees, large herbivores and large carnivores need to be understood [17, 18, 19].

However, the spatial extent of trophic interactions between large carnivores and herbivores, and herbivores and tree species, is very large. This makes it challenging to study because there is a risk that the research design used to study the effects of moose on tree species may affect the conclusions. This issue can be addressed by comparative macroecological studies at different spatial scales. This stresses the need to include both regions with intact large carnivore assemblages, and regions where they are no longer present, or occur in low densities. A good example of this are boreal forest landscapes on the European continent, from southern Fennoscandia in the West, where all large carnivore species are extinct or occur at low densities, to regions in NW Russia in the East, where viable populations of all four naturally occurring large carnivores (brown bear (*Ursus arctos*), wolf (*Canis lupus*), lynx (*Lynx lynx*), wolverine (*Gulo gulo*)) are present.

The aim of this study is two-fold. First we compare three research designs to measure moose damage on the economic value of Scots pine and the ecological value of aspen, rowan and sallow. To do that we review two recent studies that (a) compare different managed forest landscapes, as well as managed forest landscapes and urban forests [6], and one (b) that compared ten forest landscapes in Sweden, Norway, Finland, Latvia, Belarus and Russia [4]. Second, we discuss management implications in terms of the need to integrate forest, biodiversity and wildlife planning and management, and how that could be achieved.

Research Methodology

Determining the size and location of study areas. Any research question requires the identification of the relevant spatial scale to address it. While trees have very small area requirements, large herbivores have large area requirements, and their predators' even larger ones. To encompass a population of moose it has been reported that in Sweden [14], moose management units should exceed from 500 km² in the south to 1000 km² in the north. Large carnivore management takes place at a regional level, exceeding one order of magnitude larger areas compared to optimal moose management area size. However, because within any particular country, management of large herbivores and carnivores are governed by similar or identical policies and management approaches, predator – prey – vegetation relationships have limited variation among landscapes and regions. On the contrary, by including several countries in the northern part of the European continent, large variation in both large herbivore and carnivore abundance, as well as forest management history and intensity, is achieved (Fig. 1).

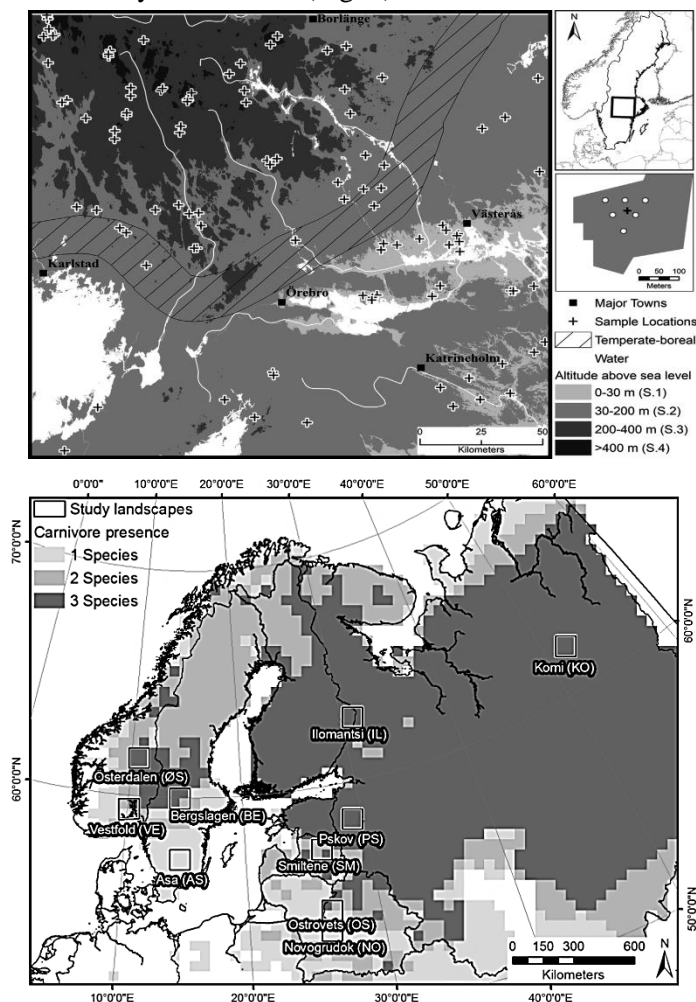


Fig. 1. Three study designs: (a) comparison of forest landscapes made in south-central Sweden at ca. 58.5°–60.5° N within four altitudinal strata, and (b) in forest stands in towns and villages (left map); (c) sampling in a total of 10 forest landscapes in Norway, Sweden, Finland, Latvia, Belarus and Russia (right map)

Three macroecological approaches. *Managed forest landscapes in Sweden.* First, we sampled six plots in each of 120 young forest stands in the distinct temperate-boreal forest gradient in Mälardalen and Bergslagen in south-central Sweden (Fig. 1). The potential for aspen, rowan, willow and oak saplings to become recruited into the population of ecologically mature trees forming habitat of importance for biodiversity conservation, and for Scots pine to deliver undamaged saw logs was estimated. Sampling was made in forest stands representing managed forest landscapes accessible to large herbivores, dominated by moose, contributing 93 % to the total abundance of large herbivores [4, 6].

Forests with different moose access in Sweden. Next, a natural experiment approach was applied by comparing the results from sampling in young forest stands in managed forests accessible to moose, and as a control in settlements that were typically avoided by large herbivores [6].

Macroecological study in six countries in northern Europe. Finally, again using the same methodology as above, we employed a macroecological approach based on studies in each of 100 forest stands in 10 boreal forest landscapes in the Baltic Sea region and Russia (Fig. 1, right [6]). This gradient ranged from extinct to extant populations of both large carnivores and large herbivores, and from high to low forest management intensity.

Results and Discussion

Review of three approaches. *Managed forest landscapes in Sweden.* For rowan, willow and oak, but not aspen, we found a positive relationship between browsing damage levels and moose abundance. This may be related to high selection preference of moose towards aspen in combination with low aspen occurrence in young managed forest.

Forests with different access of moose in Sweden. Using the same sampling methodology, we found that both the focal deciduous tree species, and Scots pine, had lower damage levels in towns and villages (with limited access to moose) compared to forest sites (Fig. 2 with aspen as example). Rowan, willow, oak and Scots pine showed the same general pattern [6].

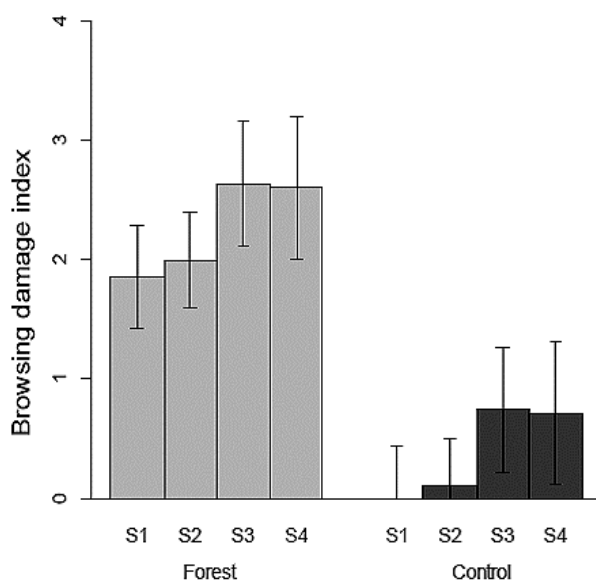


Fig. 2. Estimates of mean browsing damage level \pm 95 % confidence interval for aspen (on a scale from 0 (unbrowsed) to 4 (every long shoot browsed) per plot, in four forest and control strata S1 (< 30 m a.s.l.), S2 (30 < 200 m a.s.l.), S3 (200 < 400 m a.s.l.) and S4 (> 400 m a.s.l.)

Macroecological study in six countries in northern Europe. A long history of human-induced factors made large carnivore species go extinct in the south-western part of the study area ranging from Norway and Sweden to Finland, Latvia, Belarus and Russia [4]. There was an inverse relationship between the numbers of large carnivores and large herbivores. This coincided with a steep gradient in browsing damage on the ecologically important aspen as hosts for specialised species, as well as the economically important Scots pine. In one landscape (in Norway), hunting had replaced the function of predation by large carnivores. Mean damage levels of all tree species were correlated with large herbivore abundance ($r = 0.80$, $p < 0.05$; see Fig. 3).

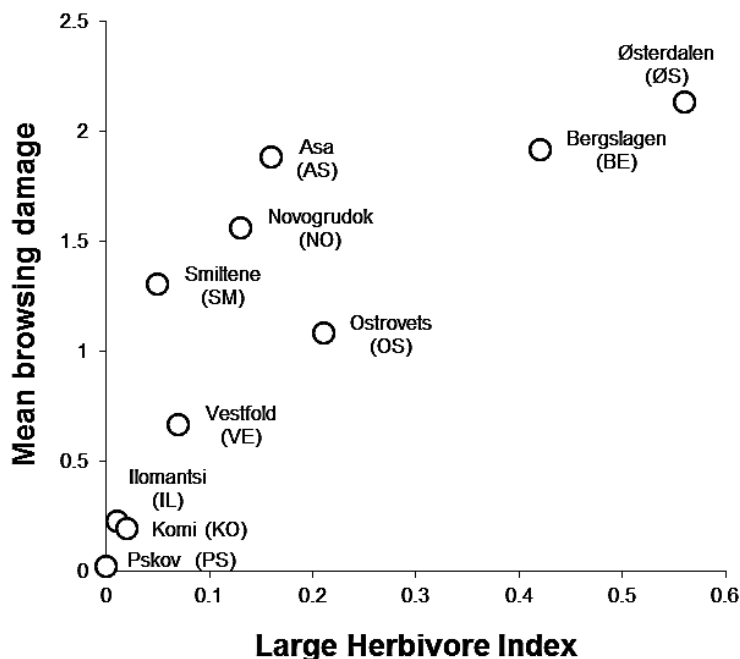


Fig. 3. Relationship between the abundance of large herbivores (using an index combining density and body weight [4]) and mean browsing damage on aspen, willow tree and Scots pine in 10 study areas in Norway, Sweden, Finland, Latvia, Belarus and Russia

Adding results from eight landscapes sampled in the same way [7] yields a sample size of 18 and a correlation coefficient of 0.74 ($p < 0.001$). There was no relationship between moose damage and forest management intensity.

Research design matters. The browsing damage index used in our studies ranged from 0 (not browsed), over 1 (< 50 % of long shoots damaged) and 2 (> 50 % of all long shoots damaged) to 3 (all long shoots damaged) and 4 (all long shoots dead). Comparing different forest stands in south-central Sweden yielded a variation in browsing damages, which is only 24 % of the variation observed in northern Europe from Norway to Russia. The comparison between forest landscapes and urban forests was intermediate (Fig. 4).

Our studies [4, 6, 7] demonstrate that research design is a crucial aspect to consider when drawing conclusion about the impact large herbivores have on ecologically and economically important tree species.

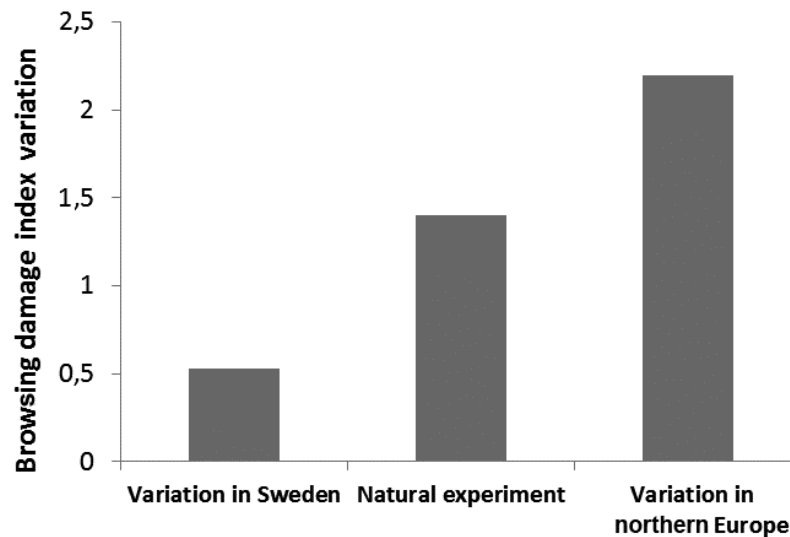


Fig. 4. Illustration showing that the design of studies of the impact on moose browsing damages on economically and ecologically important tree species affects conclusions for management (While studies in Swedish managed landscapes have small variation in moose density and tree browsing damages because they are always high, the natural experiment approach and use of variation in northern Europe shows clear relationships between moose density and tree browsing damages.)

Depending on what aspect of our research one quotes, it is possible to draw very different conclusions about the role of moose browsing damages on young trees. We conclude that comparative studies that encompass the full range of variability in moose density in northern Europe are necessary, and can enlighten the debate on how to cope with moose damage on ecologically and ecologically important tree species in Fennoscandia.

Other studies have also documented clear relationships between moose density and damage levels to young trees. In northern New Hampshire, USA, a direct correlation between browse damage and moose density was found [8]. Similarly, in Russia, Abaturov and Smirnov [1] showed that normal stand development occurred at 0.2–0.3 moose/km² while 0.3–0.5 moose/km² was associated with impaired growth of preferred forage species such as aspen. Fennoscandian moose densities are well above that level. The low abundance of preferred deciduous browse species [7], caused by a long history of forest management focus on coniferous tree species, aggravates the difficulty to reduce browsing damages on economically and ecologically important tree species.

Management Implication

Restore deciduous forest habitat networks in urban contexts. Given the difficulty to reduce browsing damage to allow restoration of mature aspen, rowan and willow trees in for example Sweden, other solutions need to be sought. With browsing damage being much lower near and in towns and villages compared to the surrounding managed forest landscapes, opportunities exist for restoration of deciduous forests' functional habitat network. However, this means that spatial planning is essential to secure that sufficient amounts of deciduous forest areas are present. This means that collaboration between county administrations, municipalities and

forest planners must be encouraged. Unfortunately, however, cross-sector collaboration between public and private sectors is poor [2, 12].

Governance and management of trophic interactions. To support knowledge production about how to encourage integrated management of large carnivores, large herbivores and cascading effects on forest ecosystems and their ecosystem services, as well as forest and conservation planning, we encourage researchers to carry out macroecological comparative studies that include variation in both landscape history, and different governance and management regimes. Future research should thus turn the sole focus from the ecology of large herbivore-forest systems towards human and societal aspect of how to best govern and manage these systems. Landscape approach builds on knowledge production and learning about and within social-ecological systems [3, 10]. The variation among countries in the Baltic Sea Region and NW Russia is a great asset for this. The knowledge generated through macroecological studies provides opportunity for initiating a process of collaborative learning among actors and stakeholders with different portfolios of landscape benefits.

REFERENCES

1. Abaturov B.D., Smirnov K.A. Effects of Moose Population Density on Development of Forest Stands in Central European Russia. *Alces*, 2002, vol. 38, pp. 1–5.
2. Angelstam P., Andersson K., Axelsson R., Elbakidze M., Jonsson B.G., Roberge J.-M. Protecting Forest Areas for Biodiversity in Sweden 1991–2010: the Policy Implementation Process and Outcomes on the Ground. *Silva Fennica*, 2011, vol. 45(5), pp. 1111–1133.
3. Angelstam P., Elbakidze M. Forest Landscape Stewardship for Functional Green Infrastructures in Europe’s West and East: Diagnosing and Treating Social-Ecological Systems. *The Science and Practice of Landscape Stewardship*. Ed. by C. Bieling, T. Plieninger. Cambridge University Press, 2017, pp. 124–144.
4. Angelstam P., Manton M., Pedersen S., Elbakidze M. Disrupted Trophic Interactions Affect Recruitment of Boreal Deciduous and Coniferous Trees in Northern Europe. *Ecological Applications*, 2017, vol. 27(4), pp. 1108–1123.
5. Angelstam P., Naumov V., Elbakidze M., Manton M., Priednieks J., Rendenieks Z. Wood Production and Biodiversity Conservation are Rival Forestry Objectives in Europe’s Baltic Sea Region. *Ecosphere*, 2018, vol. 9(3), article e02119.
6. Angelstam P., Pedersen S., Manton M., Garrido P., Naumov V., Elbakidze M. Green Infrastructure Maintenance is More than Land Cover: Large Herbivores Limit Recruitment of Key-Stone Tree Species in Sweden. *Landscape and Urban Planning*, 2017, vol. 167, pp. 368–377.
7. Angelstam P., Wikberg P.E., Danilov P., Faber W.E., Nygrén K. Effects of Moose Density on Timber Quality and Biodiversity Restoration in Sweden, Finland and Russian Karelia. *Alces*, 2000, vol. 36, pp. 133–145.
8. Bergeron D.H., Pekins P.J., Jones H.F., Leak W.B. Moose Browsing and Forest Regeneration: a Case Study in Northern New Hampshire. *Alces*, 2011, vol. 47, pp. 39–51.
9. Brown J.H. *Macroecology*. University of Chicago Press, 1995. 284 p.
10. Elbakidze M., Angelstam P., Dawson L., Shushkova A., Naumov V., Rendenieks Z., Liepa L., Trasūne L., Ustsin U., Yurhenson N., Uhlianets S., Manton M., Irbe A., Yermokhin M., Grebenzshikova A., Zhivotov A., Nestsiaienka M. Towards Functional Green Infrastructure in the Baltic Sea Region: Knowledge Production and Learning Across Borders. *Ecosystem Services from Forest Landscapes: Broadscale Considerations*. Ed. by A. Perera, U. Peterson, G. Pastur, L. Iverson. Springer, 2018, pp. 57–87.
11. Elbakidze M., Angelstam P., Sandström C., Axelsson R. Multi-Stakeholder Collaboration in Russian and Swedish Model Forest Initiatives: Adaptive Governance Toward Sustainable Forest Management? *Ecology and Society*, 2010, vol. 15, iss. 2, p. 14.

12. Elbakidze M., Dawson L., Andersson K., Axelsson R., Angelstam P., Stjernquist I., Teitelbaum S., Schlyter P., Thellbro C. Is Spatial Planning a Collaborative Learning Process? A Case Study from a Rural-Urban Gradient in Sweden. *Land Use Policy*, 2015, vol. 48, pp. 270–285.

13. Elbakidze M., Hahn T., Mauerhofer V., Angelstam P., Axelsson R. Legal Framework for Biosphere Reserves as Learning Sites for Sustainable Development: a Comparative Analysis of Ukraine and Sweden. *AMBIO*, 2013, vol. 42, iss. 2, pp. 174–187.

14. Lindqvist S., Sandström C., Bjärstig T., Kvastegård E. The Changing Role of Hunting in Sweden – from Subsistence to Ecosystem Stewardship? *Alces*, 2014, vol. 50, pp. 53–66.

15. Naumov V., Manton M., Elbakidze M., Rendenieks Z., Priedniek J., Uhliānēts S., Yamelynēts T., Zhivotov A., Angelstam P. How to Reconcile Wood Production and Biodiversity Conservation? The Pan-European Boreal Forest History Gradient as an “Experiment”. *Journal of Environmental Management*, 2018, vol. 218, pp. 1–13.

16. Nordberg M., Angelstam P., Elbakidze M., Axelsson R. From Logging Frontier towards Sustainable Forest Management: Experiences from Boreal Regions of North-West Russia and North Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2013, vol. 28, iss. 8, pp. 797–810.

17. Ripple W.J., Beschta R.L. Hardwood Tree Decline Following Large Carnivore Loss on the Great Plains, USA. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2007, vol. 5, iss. 5, pp. 241–246.

18. Ripple W.J., Beschta R.L. Large Predators Limit Herbivore Densities in Northern Forest Ecosystems. *European Journal of Wildlife Research*, 2012, vol. 58, iss. 4, pp. 733–742.

19. Ripple W.J., Estes J.A., Beschta R.L., Wilmers C.C., Ritchie E.G., Hebblewhite M., Berger J., Elmhagen B., Letnic M., Nelson M.P., Schmitz O.J., Smith D.W., Wallach A.D., Wirsing A.J. Status and Ecological Effects of the World's Largest Carnivores. *Science*, 2014, vol. 343, iss. 6167, pp. 151–162. doi: 10.1126/science.1241484

20. Triviño M., Juutinen A., Mazziotta A., Miettinen K., Podkopaev D., Reunanen P., Mönkkönen M. Managing a Boreal Forest Landscape for Providing Timber, Storing and Sequestering Carbon. *Ecosystem Services*, 2015, vol. 14, pp. 179–189.

Received on April 24, 2018

УДК 630*451

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.9

МАКРОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В БОРЕАЛЬНОМ ЛЕСУ: ВЫЯВЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОПУЛЯЦИИ ЛОСЕЙ НА ЭКОНОМИЧЕСКИ И ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЗНАЧИМЫЕ ПОРОДЫ ДРЕВОСТОЕВ

П. Ангельстам^{1,2}, д-р наук, проф.

*С. Педерсен*², доц.

*М. Мантон*³, науч. сотр.

¹Swedish University of Agricultural Sciences, PO Box 43, SE-739 21, Skinnskatteberg, Sweden; e-mail: per.angelstam@slu.se

²Inland Norway University of Applied Sciences, Campus Evenstad, N-2480, Koppang, Norway; e-mail: simen.pedersen@inn.no

³Institute of Forest Biology and Silviculture, Aleksandras Stulginskis University, Studentu, 13, Akademija, Kauno, LT-53362, Lithuania; e-mail: michael.manton@asu.lt

Управление воздействием большой популяции лосей на экономически важные древостой сосны обыкновенной и экологически значимые спелые насаждения осины, рябины

Для цитирования: Ангельстам П., Педерсен С., Мантон М. Макроэкологические исследования в бореальном лесу: выявление влияния популяции лосей на экономически и экологически значимые породы древостоев // Лесн. журн. 2018. № 4. С. 9–18. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.9

и ивы – среду обитания лишайников, мхов и птиц – является актуальной проблемой для работников лесного хозяйства и охраны живой природы в исторической области Фенноскандия. План исследования, позволяющего сделать выводы о влиянии ущерба от обгладывания лосося подростом на древостои, имеющие экономическую и экологическую ценность, основан на трех макроэкологических подходах: (1) – сравнение шведских лесных ландшафтов, используемых для интенсивного воспроизводства хвойной древесины; (2) – эксперимент в естественных условиях по сравнению участков лесов Швеции с разной численностью лосей; (3) – сопоставление ущерба от обгладывания деревьев на территории шести стран Северной Европы (от Норвегии на западе до России на востоке). Результаты исследования в Швеции выявили высокую плотность популяций лосей на всех изученных территориях при повсеместном высоком уровне ущерба и, как следствие, слабую связь между этими факторами. Сравнение эксплуатационных лесов и пригородных лесных участков, где доступ лосей ограничен, показало явную зависимость числа поврежденных деревьев экономически и экологически значимых пород от численности лосей. В заключение установлено существенное влияние численности лосей на количество поврежденных деревьев обеих групп пород на всех 10 опытных площадях в Швеции, Норвегии, Финляндии, Латвии, Белоруссии и России. Исследование дает основания для выводов о влиянии плотности популяций лосей на степень ущерба от обгладывания деревьев экономически и экологически значимых пород. Макроэкологические исследования на разнообразных участках лесов запада и востока Европы позволяют сформировать содержательный подход к приобретению новых знаний. Авторы обсуждают необходимость интеграции управления численностью лосей и их природных противников (включая человека) с управлением лесами и планированием сохранения биоразнообразия.

Ключевые слова: бореальный лес, лось, сохранение биоразнообразия, управление лесным ландшафтом, зеленая инфраструктура, восстановление ландшафта, макроэкология, трофические взаимодействия в пространственном планировании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Abaturov B.D., Smirnov K.A.* Effects of Moose Population Density on Development of Forest Stands in Central European Russia // *Alces*. 2002. Vol. 38. Pp. 1–5.
2. *Angelstam P., Andersson K., Axelsson R., Elbakidze M., Jonsson B.-G., Roberge J.-M.* Protecting Forest Areas for Biodiversity in Sweden 1991–2010: Policy Implementation Process and Outcomes on the Ground // *Silva Fennica*. 2011. Vol. 45(5). Pp. 1111–1133.
3. *Angelstam P., Elbakidze M.* Forest Landscape Stewardship for Functional Green Infrastructures in Europe's West and East: Diagnosing and Treating Social-Ecological Systems // *The Science and Practice of Landscape Stewardship* / Ed. by C. Bieling, T. Plieninger. Cambridge University Press, 2017. Pp. 124–144.
4. *Angelstam P., Manton M., Pedersen S., Elbakidze M.* Disrupted Trophic Interactions Affect Recruitment of Boreal Deciduous and Coniferous Trees in Northern Europe // *Ecological Applications*. 2017. Vol. 27(4). Pp. 1108–1123.
5. *Angelstam P., Naumov V., Elbakidze M., Manton M., Priednieks J., Rendenieks Z.* Wood Production and Biodiversity Conservation are Rival Forestry Objectives in Europe's Baltic Sea Region // *Ecosphere*. 2018. Vol. 9(3). Article e02119.
6. *Angelstam P., Pedersen S., Manton M., Garrido P., Naumov V., Elbakidze M.* Green Infrastructure Maintenance is More than Land Cover: Large Herbivores Limit Recruitment of Key-Stone Tree Species in Sweden // *Landscape and Urban Planning*. 2017. Vol. 167. Pp. 368–377.
7. *Angelstam P., Wikberg P.E., Danilov P., Faber W.E., Nygrén K.* Effects of Moose Density on Timber Quality and Biodiversity Restoration in Sweden, Finland and Russian Karelia // *Alces*. 2000. Vol. 36. Pp. 133–145.

8. Bergeron D.H., Pekins P.J., Jones H.F., Leak W.B. Moose Browsing and Forest Regeneration: a Case Study in Northern New Hampshire // *Alces*. 2011. Vol. 47. P. 39–51.

9. Brown J.H. *Macroecology*. University of Chicago Press, 1995. 284 p.

10. Elbakidze M., Angelstam P., Dawson L., Shushkova A., Naumov V., Rendenieks Z., Liepa L., Trasūne L., Ustin U., Yurhenson N., Uhlianets S., Manton M., Irbe A., Yermokhin M., Grebenzshikova A., Zhivotov A., Nestsiarenka M. Towards Functional Green Infrastructure in the Baltic Sea Region: Knowledge Production and Learning Across Borders // *Ecosystem Services from Forest Landscapes: Broadscale Considerations* / Ed. by A. Perera, U. Peterson, G. Pastur, L. Iverson. Springer, 2018. Pp. 57–87.

11. Elbakidze M., Angelstam P., Sandström C., Axelsson R. Multi-Stakeholder Collaboration in Russian and Swedish Model Forest Initiatives: Adaptive Governance Towards Sustainable Forest Management? // *Ecology and Society*. 2010. Vol. 15(2). P. 14.

12. Elbakidze M., Dawson L., Andersson K., Axelsson R., Angelstam P., Stjernquist I., Teitelbaum S., Schlyter P., Thellbro C. Is Spatial Planning a Collaborative Learning Process? A Case Study from a Rural-Urban Gradient in Sweden // *Land Use Policy*. 2015. Vol. 48. Pp. 270–285.

13. Elbakidze M., Hahn T., Mauerhofer V., Angelstam P., Axelsson R. Legal Framework for Biosphere Reserves as Learning Sites for Sustainable Development: a Comparative Analysis of Ukraine and Sweden // *AMBIO*. 2013. Vol. 42(2). Pp. 174–187.

14. Lindqvist S., Sandström C., Bjärstig T., Kvastegård E. The Changing Role of Hunting in Sweden – from Subsistence to Ecosystem Stewardship? // *Alces*. 2014. Vol. 50. Pp. 53–66.

15. Naumov V., Manton M., Elbakidze M., Rendenieks Z., Priedniek J., Uglyanets S., Yamelynets T., Zhivotov A., Angelstam P. How to Reconcile Wood Production and Biodiversity Conservation? The Pan-European Boreal Forest History Gradient as an “Experiment” // *Journal of Environmental Management*. 2018. Vol. 218. Pp. 1–13.

16. Nordberg M., Angelstam P., Elbakidze M., Axelsson R. From Logging Frontier towards Sustainable Forest Management: Experiences from Boreal Regions of North-West Russia and North Sweden // *Scandinavian Journal of Forest Research*. 2013. Vol. 28(8). Pp. 797–810.

17. Ripple W.J., Beschta R. Hardwood Tree Decline Following Large Carnivore Loss on the Great Plains, USA // *Front Ecol. Environ*. 2007. Vol. 5(5). Pp. 241–246.

18. Ripple W.J., Beschta R. Large Predators Limit Herbivore Densities in Northern Forest Ecosystems // *European Journal of Wildlife Research*. 2012. Vol. 58(4). Pp. 733–742.

19. Ripple W.J., Estes J.A., Beschta R.L., Wilmers C.C., Ritchie E.G., Hebblewhite M., Berger J., Elmhagen B., Letnic M., Nelson M.P., Schmitz O.J., Smith D.W., Wallach A.D., Wirsing A.J. Status and Ecological Effects of the World's Largest Carnivores // *Science*. 2014. Vol. 343(6167). Pp. 151–162. doi: 10.1126/science.1241484

20. Triviño M., Juutinen A., Mazziotta A., Miettinen K., Podkopaev D., Reunanen P., Mönkkönen M. Managing a Boreal Forest Landscape for Providing Timber, Storing and Sequestering Carbon // *Ecosystem Services*. 2015. Vol. 14. Pp. 179–189.

Поступила 24.04.18

УДК 630*232.3

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.19

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ШИШЕК НА КАЧЕСТВО СЕМЕННОГО МАТЕРИАЛА СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

В.П. Иванов, д-р биол. наук, проф.

С.И. Марченко, канд с.-х. наук, доц.

И.Н. Глазун, канд с.-х. наук, доц.

Д.И. Нартов, канд с.-х. наук, доц.

Брянский государственный инженерно-технологический университет,
просп. Станке Димитрова, д. 3, г. Брянск, Россия, 241037; e-mail: ivpinfo@mail.ru

Состояние репродуктивной сферы сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) характеризует биологическую устойчивость насаждений и перспективу их развития в условиях воздействия различных негативных факторов. Плантационное семеноводство должно обеспечивать сохранение качественного генофонда в конкретных условиях. Исследования женской репродуктивной сферы сосны проведены на лесосеменной плантации первого порядка общего назначения, созданной посадкой привитых саженцев в Государственном казенном учреждении Брянской области «Навлинское лесничество». Проанализированы наиболее информативные морфометрические показатели шишек: длина, средний диаметр, масса и коэффициент формы шишки; количество и масса семенных чешуй фертильного яруса. При оценке семенной продуктивности использовали следующие показатели: количество семязачатков и полнозернистых семян; масса и выход полнозернистых семян; количество семян нормальных размеров; масса 1000 шт. семян нормальных размеров; общее количество недоразвитых семян, включая пустые. Полученные данные сравнивали с аналогичными показателями генеративной сферы сосны из буферной зоны заповедника «Брянский лес». Выявлено превышение морфометрических показателей шишек из заповедника по длине, средним значениям диаметра и массы, количеству и массе семенных чешуй над показателями шишек с полей № 1 и 3 лесосеменной плантации. По большинству параметров шишки с поля № 3 превалировали над шишками с поля № 1. Установлено, что шишки сосны из заповедника по большинству показателей более предпочтительны в качестве лесосеменного сырья, чем шишки с плантации. Оценка показателей семенной продуктивности сосны на полях плантации выявила различную способность семян к образованию нормально развитых проростков. Семена из шишек с поля № 1 характеризуются лишь III классом качества (всхожесть 69 %). Низкий показатель всхожести семян с поля № 3 (60 %) не позволяет отнести их к категории кондиционных (пороговое значение для Брянской области составляет 65 %), хотя шишки с этого поля по большинству параметров превосходили шишки с поля № 1. Точную информацию о селекционной ценности лесосеменных объектов сосны обыкновенной можно получить за счет проведения паспортизации лесосеменных плантаций, маркировки деревьев на них по единой методологии для оптимальной организации лесного семеноводства в регионах.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, женская генеративная сфера, морфометрические показатели, лесосеменная база, проращивание семян, лабораторная всхожесть, посевное качество семян.

Для цитирования: Иванов В.П., Марченко С.И., Глазун И.Н., Нартов Д.И. Оценка влияния морфометрических параметров шишек на качество семенного материала сосны обыкновенной // Лесн. журн. 2018. № 4. С. 19–30. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.19

Введение

Генетическая структура природных популяций фитоценозов сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) постепенно изменяется, обеспечивая высокую адаптацию к состоянию природной среды за счет генетического полиморфизма признаков. Возрастающее техногенное воздействие на лесные биогеоценозы отражается на их внутривидовой изменчивости, часто не совпадающей с характером и темпом эволюционного развития [8]. Предотвращение деградации лесных фитоценозов возможно на основе анализа причин и механизмов их антропогенных трансформаций. Нарушение генетической структуры популяций видов длительного жизненного цикла, таких как сосна обыкновенная, ведет к снижению пластичности и адаптивности последующих поколений, что может привести к изменению структуры растительных ценозов и утрате видов, зависимых от породы – эдификатора [4, 5, 7, 22].

Создание постоянной лесосеменной базы основных лесообразователей различных уровней призвано выполнить задачи сохранения их генофонда и формирования в дальнейшем высококачественных древостоев. Состояние репродуктивной сферы сосны обыкновенной способно в определенной степени характеризовать биологическую устойчивость насаждений и помочь увидеть перспективу их развития в конкретных условиях воздействия комплекса экологических и антропогенных факторов. Плантационное семеноводство при повышении продуктивности создаваемых лесных культур может обеспечить сохранение видового генофонда [14]. Хотя существует и иное мнение: рост в высоту (сосны) наследуется до 6 лет, а далее, начиная с 7 лет, наследуемость падает до нуля и действует стабилизирующий отбор. Поэтому «плюсовая» селекция у сосны в плантационном выращивании может быть неперспективна [19].

Исследования свойств и качеств плюсовых деревьев сосны обыкновенной на объектах единого генетико-селекционного комплекса (ЕГСК), выполненные В.П. Бессчетновым и Н.Н. Бессчетновой, показали их значительные различия по морфометрическим параметрам и качеству семян, шишек и выходу нормально развитых и неразвитых семян под влиянием различных факторов среды [1, 2, 3]. Изменчивость параметров семян обусловлена генотипически, а на проявление их разнообразия оказывают влияние факторы среды и качество прививок, что, по мнению авторов, связано с установленными ими индексами генотипически обусловленной неидентичности плюсовых деревьев сосны. Существенные различия между плюсовыми деревьями сосны по морфометрическим характеристикам нормально развитых шишек зависят от факторов среды, влияние которых составляет от 60 до 87 %. Представляет интерес оценка степени наследственной обусловленности признаков сосны обыкновенной, имеющих хозяйственное, адаптивное и идентификационное значение [5].

В.Ф. Коновалов и Э.Р. Насырова отмечают хорошее состояние, успешный рост, развитые кроны деревьев сосны обыкновенной, продуцирование высококачественных семян на постоянных лесосеменных участках (ПЛСУ) и считают необходимым создание новых лесосеменных участков для увеличения объемов заготовки высококачественных семян [15]. Объективная информация о селекционной ценности лесосеменных объектов сосны обыкновенной – лидера среди хвойных видов, необходима для оптимальной организации лесного семеноводства в регионах.

В целом доминируют положительные оценки состояния постоянной лесосеменной базы и лесосеменных объектов, хотя Ю.П. Ефимов указывает на более осторожный подход и необходимость проведения селекционной инвентаризации насаждений для выделения плюсовых насаждений, отбора плюсовых деревьев, закладки постоянных лесосеменных участков и лесосеменных плантаций (ЛСП) [9].

Объекты и методы исследования

Исследования проведены в Государственном казенном учреждении Брянской области «Навлинское лесничество» на ЛСП общего назначения (71,8 га), предназначенной для массового получения семян с ценными наследственными свойствами и выращивания высококачественных производственных культур. Исследуемый объект создан посадкой привитых саженцев и относится к лесосеменным плантациям первого порядка [21].

В Брянской области лимитирующими факторами воздействия на природные экосистемы являются повышенный радиационный фон в виде очаговых загрязнений, преимущественно в юго-западных районах, после аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 г., техногенные выбросы промышленных предприятий, автотранспорта, строительство и эксплуатация линейных и инженерных объектов, рекреационные нагрузки. Поддержание гомеостаза в природных системах обеспечивается совместно адаптацией отдельных особей, реализуемой через коррекцию биохимических и физиологических процессов, и за счет популяционных механизмов [8, 9, 11].

В качестве контроля при изучении морфометрических показателей генеративной сферы сосны обыкновенной использовали шишки в количестве 359 шт. с 10 деревьев в 30–40-летних насаждениях из буферной зоны заповедника «Брянский лес» (далее – заповедник), расположенной примерно в 40 км южнее ЛСП [12, 13]. Шишки до начала марта хранили в неотапливаемом помещении.

Первоначальная идея использования ЛСП для изучения параметров женской генеративной сферы сосны обыкновенной в качестве контроля оказалась несостоятельной. Для ее проверки в декабре 2009 г. на двух смежных полях с деревьев одного клона (№ 17 по А.Н. Ткаченко [21]) были отобраны шишки: на поле № 1 (создано в 1980 г.) – 482 шт. с 17 деревьев; на поле № 3 (1982 г.) – 641 шт. с 22 деревьев. Всего отобрано 1123 шишки.

Промышленные предприятия вблизи изучаемых объектов отсутствуют, очагов радиационного загрязнения не выявлено. В местах проведения исследований почвы подзолистые, на флювиогляциальных песках, иногда в качестве второй почвообразующей породы встречаются моренные суглинки.

В работе использована общепринятая методика анализа морфологических признаков женской генеративной сферы сосны обыкновенной [20], дополненная нами [13], которая достаточно кропотлива, но значительно дешевле биохимических и молекулярно-генетических методов [17]. Анализировали наиболее информативные морфометрические показатели шишек: длину, диаметр (средний по двум взаимно перпендикулярным измерениям), массу и коэффициент формы шишки; количество и массу семенных чешуй фертильного яруса. Оценивали также показатели семенной продуктивности: количество семязачатков и полнозернистых семян, массу и выход полнозернистых семян, количество и массу 1000 шт. семян нормальных размеров, количество пустых семян и общее количество недоразвитых семян.

В лабораторных условиях семена из собранных на ЛСП шишек проращивали для изучения характера ростовых процессов на ранних стадиях онтогенеза сосны обыкновенной. Определяли характеристики посевных качеств полнозернистых семян в соответствии с требованиями ГОСТ 13056.6–97 «Семена деревьев и кустарников. Метод определения всхожести».

Здоровые по внешним признакам семена проращивали в пластиковых чашках Петри на двойных подложках из фильтровальной обеззоленной бумаги (по 100 шт. семян на ложе в 4 повторностях), которые ежедневно смачивали дистиллированной водой для предотвращения подсыхания семян и нормального роста корешков проростков. Учет проросших семян проводили на 5, 7, 10 и 15-е сутки. В каждый учетный день проросшие семена с длиной корешка больше длины семени удаляли из чашек Петри и сканировали для последующего измерения длины корешков проростков.

В процессе эксперимента у семян определяли абсолютную всхожесть, энергию прорастания и техническую всхожесть. Дополнительно измеряли длину корешков проростков в дни учета.

Результаты исследования и их обсуждение

Следует отметить, что еще на стадии визуального анализа полевого материала были выявлены различия шишек по цвету и размерам: на ЛСП их цвет варьировал от темно-серого до почти черного, в заповеднике они имели коричневый цвет и более крупные размеры. Среди шишек с ЛСП встречались искривленные и с явными следами повреждения насекомыми-вредителями – шишковой огневкой и шишковой смолевкой.

Исследования показали преимущество шишек из заповедника по длине, среднему диаметру и массе, количеству и массе семенных чешуй над шишками с полей № 1 и 3 (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика параметров шишек (с ошибкой определения)

Объект исследований	Длина, см	Диаметр, см	Масса* шишки, г	Коэффициент формы шишек	Количество семенных чешуй, шт.	Масса* семенных чешуй, г
ЛСП:						
поле № 1	4,02±0,03	1,91±0,01	5,12±0,09	2,11±0,01	17,77±0,20	2,62±0,05
поле № 3	4,18±0,03	1,96±0,01	5,59±0,08	2,13±0,01	18,22±0,20	2,83±0,05
Заповедник	4,44±0,04	2,12±0,01	6,44±0,10	2,10±0,02	19,26±0,24	3,40±0,06

* В воздушно-сухом состоянии.

Шишки поля № 3 превалировали над шишками поля № 1 по большинству параметров. Коэффициент формы шишек варьировал несущественно, несмотря на различия по длине и диаметру, т. е. форма шишек оказалась в целом идентичной на исследуемых полях.

Сравнительный анализ результатов статистической обработки полевого материала с использованием Н-критерия [27] подтвердил существенное различие (при $p < 0,001$) по большинству анализируемых показателей генеративной сферы сосны на полях ЛСП и в заповеднике, исключение – коэффициент формы шишек и количество семенных чешуй.

Изменчивость морфометрических признаков особей относится к важнейшим реакциям популяций на стрессовое воздействие. Возможно, различие параметров шишек полей № 1 и 3 объясняется негативными последствиями совокупного влияния внешних факторов, так как создание ЛСП первого порядка предусматривает использование потомства плюсовых деревьев, отобранных по фенотипу с наиболее ценными хозяйственными и биологическими свойствами. В нормальных условиях генофонд популяции устойчиво сохраняется во времени, однако в условиях меняющейся среды он способен перестраиваться [6, 8, 9, 19, 23–26]. Эффекты от воздействия внешних факторов могут проявляться в первую очередь на клеточном уровне, хотя более выражены морфологические изменения признаков у особей, которые в долгосрочной перспективе могут закрепиться наследственно, а наследуемые генетические изменения более важны для устойчивости и развития популяций. Подобные биологические эффекты могут появляться даже после исчезновения фактора воздействия окружающей среды [5, 7, 12].

Анализ семенной продуктивности, характеризующей репродуктивную способность сосны – одного из основных показателей наследственной перспективы, в целом подтвердил выявленные тенденции в различии параметров шишек на исследуемых объектах. Так, количество семязачатков и полнозернистых семян в шишках из заповедника (табл. 2) превышало аналогичные показатели шишек ЛСП, эти же параметры поля № 3 превосходили данные поля № 1.

Таблица 2

Характеристика семенной продуктивности шишек (с ошибкой определения)

Показатель	Поле ЛСП		Заповедник
	№ 1	№ 3	
Количество семязачатков, шт.	35,54±0,41	36,43±0,40	38,53±0,49
Полнозернистые семена, шт.	13,58±0,36	15,76±0,33	17,61±0,44
Масса полнозернистых семян, г	0,10±0,003	0,12±0,003	0,14±0,004
Выход полнозернистых семян, шт.	1,90±0,04	2,02±0,03	2,13±0,04
Нормальные семена, шт.	16,62±0,38	20,36±0,34	21,11±0,47
Пустые семена нормальных размеров, шт.	3,04±0,16	4,60±0,18	3,51±0,24
Недоразвитые семена, шт.	18,92±0,40	16,07±0,32	17,42±0,50
Масса 1000 шт. семян, г	5,87±0,08	5,88±0,07	6,75±0,10

Выход полнозернистых семян и количество семян нормальных размеров для шишек из заповедника также превышали показатели для полей ЛСП, а показатели поля № 3 были выше, чем у поля № 1. Сохраняется незначительное превалирование массы полнозернистых семян из заповедника над данными полей ЛСП. Масса 1000 шт. семян из шишек заповедника выше аналогичных показателей для полей № 1 и 3.

В шишках из заповедника выявлено повышенное количество пустых (по сравнению с полем № 1) и недоразвитых (по сравнению с полем № 3) семян, что не характеризует положительно семенную продуктивность, хотя по большинству параметров женской репродуктивной сферы сосны шишки из заповедника в качестве лесосеменного сырья более предпочтительны.

Сравнение показало, что пустых семян отмечено больше в шишках с поля № 3, недоразвитых – с поля № 1. Шишки из заповедника по этим параметрам занимают промежуточное положение. В целом тенденция преимущества качества шишек из заповедника подтверждается и по этим параметрам.

Проведенное сравнение технической всхожести семян ЛСП с требованиями ГОСТ 14161–86 «Семена хвойных древесных пород. Посевные качества» выявило различную способность их к образованию нормально развитых проростков в установленные сроки. Оказалось, что семена из шишек с поля № 1 можно характеризовать III классом качества (всхожесть 69 %), а низкий показатель всхожести семян с поля № 3 (60 %) не позволяет отнести их к категории кондиционных (для Брянской области – 65 %). Следует отметить, что шишки поля № 3 по большинству изученных параметров превосходят шишки поля № 1.

Сравнение технической всхожести (способности семян образовывать проростки на 15-е сутки) показало превышение этого показателя у семян поля № 1 (67,8 %) над семенами поля № 3 (58,9 %), что свидетельствует об изменении вектора формирования качественных семян, выявленном на стадии лабораторных исследований.

Изучение энергии прорастания – способности семян «дружно» прорастать на 7-е сутки (половина времени проращивания), выявило более высокий показатель (50,0 %) у семян поля № 3 (на поле № 1 – 48,1 %). В целом показатели вписываются в общую тенденцию формирования женской репродуктивной сферы сосны на изучаемых полях ЛСП.

Зафиксированное максимальное количество проросших семян на 7-е сутки: с поля № 1 – 53,7 %, с поля № 3 – 67,0 %. Это вполне логично и согласуется с биологическими особенностями вида, хотя следует отметить значительное превосходство показателя для поля № 3 (табл. 3).

Таблица 3

**Характеристика прорастания семян и длина проростков
(с ошибкой определения) по дням учета**

№ поля	Количество проросших семян, %	Длина проростков, см	Коэффициент изменчивости С, %	Точность опыта Р, %
<i>5-е сутки</i>				
1	19,47	9,01±0,10	30,24	1,10
3	17,77	9,27±0,14	27,04	1,48
<i>7-е сутки</i>				
1	53,74	12,50±0,11	40,97	0,89
3	67,02	13,98±0,15	36,81	1,04
<i>10-е сутки</i>				
1	21,80	13,50±0,18	38,36	1,31
3	14,83	14,42±0,46	52,76	3,17
<i>15-е сутки</i>				
1	4,98	13,13±0,45	47,81	3,42
3	0,37	16,10±1,77	57,15	11,00

Но на 5, 10 и 15-е сутки этот показатель у семян с поля № 1 превышал показатели семян с поля № 3, причем весьма значительно на 10-е и 15-е сутки. Следует отметить достаточно высокое значение коэффициента изменчивости признака (свыше 27 %), а на поле № 3 он даже был выше 50 % на 10-е и 15-е сутки, что может указывать на генетическую неоднородность исходного материала, использованного при создании ПЛСУ, но, возможно, это является следствием повреждения шишек насекомыми-вредителями.

Как правило, посевные качества семян сосны обыкновенной с ЛСП должны соответствовать требованиям ГОСТ 14161–86, хотя довольно часто наблюдается несовпадение ростовых эффектов на ранних стадиях онтогенеза (особенно в лабораторных условиях) и на более поздних стадиях. Анализ показал, что только семена с поля № 1 по отдельным параметрам соответствуют III классу качества. Наблюдаемые различия по большинству изучаемых параметров женской генеративной сферы сосны обыкновенной (на полях № 1 и 3) вызывают вопросы о качестве и генетической однородности семенного материала одного клона сосны обыкновенной, а также об оптимальности условий ЛСП для формирования высококачественного посевного материала сосны.

Вопрос о необходимости использования генетических маркеров при идентификации плюсовых деревьев и сохранении генофонда сосны обыкновенной ставили А.И. Видякин [7], К.Г. Зацепина, А.К. Экарт, В.В. Тараканов [10], исследования на уровне генома сосны с использованием молекулярных маркеров проведены Ж.М. Мухиной и Е.В. Дубиной [16]. Предварительная оценка методов идентификации клонов сосны на ЛСП свидетельствует о трудностях выбора какого-то конкретного способа [5, 18]. На современном этапе развития лесосеменной базы сосны обыкновенной весьма актуальны проблемы паспортизации ЛСП и точности маркировки деревьев на них по единой методологии. Это поможет снять возникающие вопросы, так как потомство одного клона подразумевает высокую однородность получаемого семенного материала.

Принято считать, что изменчивость древесных растений в популяциях и естественный отбор лучших особей способствуют формо- и видообразованию в эволюционном процессе. Наряду с этим, изменчивость является основой для селекции методом искусственного отбора, который наиболее доступен и распространен в практике лесной селекции.

Заключение

Постоянная лесосеменная база создается трудом высококвалифицированных инженерно-технических работников и рабочих с условием использования высококачественного посадочного и прививочного материала. Несоблюдение этих условий может негативно отразиться на перспективе получения качественного семенного материала. Кроме того, формирование женской генеративной сферы сосны обыкновенной на ЛСП происходит в весьма специфических условиях. В разреженном древостое изменяются ветровой режим, освещенность деревьев, прогрев воздуха, шишек, что одновременно с положительными условиями для формирования семян способствует развитию насекомых-вредителей (шишковая огневка, шишковая смолевка и др.). На ЛСП из-за перекрестного опыления близкородственных особей снижается гетерозис гибридного потомства, который в естественных условиях происходит в результате внутривидовых скрещиваний географически отдаленных особей.

Исследования показали, что по большинству показателей шишки сосны из заповедника «Брянский лес» оказались более предпочтительны в качестве лесосеменного сырья. Выявлена различная способность семян к образованию нормально развитых проростков. Семена из шишек с поля № 1 характеризуются лишь III классом качества (всхожесть 69 %), а низкая всхожесть семян с поля № 3 (60 %) не позволяет отнести их к категории кондиционных.

Снижение качества посевного материала в результате негативного действия комплекса факторов и близкородственного скрещивания организмов (инбридинга) показывает, что ЛСП не всегда гарантирует получение семенного материала высоких кондиций. Разработка единой государственной программы и региональных программ оценки потомства основных лесообразователей на объектах ЕГСК России будет способствовать повышению качества лесосеменного сырья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бессчетнов В.П., Бессчетнова Н.Н. Комплексная оценка плюсовых деревьев сосны обыкновенной по параметрам хвои // Вестн. Казан. ГАУ. 2012. № 2(24). С. 88–91.
2. Бессчетнов В.П., Бессчетнова Н.Н. Селекционная оценка плюсовых деревьев сосны обыкновенной методами многомерного анализа // Лесн. журн. 2012. № 2. С. 58–74. (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Бессчетнов В.П., Бессчетнова Н.Н. Многомерная оценка плюсовых деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) по морфологическим параметрам семян // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2013. № 3(95). С. 11–17.
4. Бессчетнов В.П., Бессчетнова Н.Н. Образование и лигнификация ксилемы плюсовых деревьев сосны обыкновенной // Лесн. журн. 2013. № 2. С. 45–57. (Изв. высш. учеб. заведений).
5. Бессчетнова Н.Н. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Репродуктивный потенциал плюсовых деревьев: моногр. Н.Новгород: Нижегород. гос. с.-х. акад., 2015. 586 с.
6. Вахнина И.Л., Макаров В.П. Морфобиологическая характеристика генеративных органов сосны в природно-техногенных условиях (Восточное Забайкалье) // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2014. Т. 18, № 5. С. 20–25.
7. Видякин А.И. Эффективность плюсовой селекции древесных растений // Хвойные бореальной зоны. 2010. Т. 27, № 1-2. С. 18–24.
8. Гераськин С.А., Удалова А.А., Дикарева С.Н., Мозолин Е.М., Черноног Е.В., Прыткова Ю.С., Дикарев В.Г., Новикова Т.А. Биологические эффекты хронического облучения в популяциях растений // Радиационная биология. Радиоэкология. 2010. Т. 50, № 4. С. 374–382.
9. Ефимов Ю.П. Программа развития семеноводства сосны обыкновенной в Центрально-Черноземном регионе России // Актуальные направления научных исследований XXI в.: теория и практика. 2013. № 4. С. 102–107.
10. Зацепина К.Г., Экарт А.К., Тараканов В.В. Генотипирование деревьев на клонных плантациях хвойных лесообразующих видов в Западной Сибири // Хвойные бореальной зоны. 2012. Т. 30, № 1-2. С. 67–71.
11. Иванов В.П., Марченко С.И., Глазун И.Н., Нартов Д.И., Иванов Ю.В. Использование показателей развития женской генеративной сферы сосны обыкновенной в экологическом мониторинге // Экология и промышленность России. 2012. № 8. С. 56–59.
12. Иванов В.П., Марченко С.И., Глазун И.Н., Паничева Д.М., Иванов Ю.В. Формирование женских шишек и семян *Pinus sylvestris* (Pinaceae) в зоне воздействия выбросов цементного производства (Брянская область) // Растительные ресурсы. 2013. Вып. 4. С. 547–557.
13. Иванов В.П., Марченко С.И., Зайцева Л.В., Иванов Ю.В. Методические аспекты определения биометрических параметров шишек сосны обыкновенной // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2012. № 1(84). С. 42–47.
14. Ивановская С.И. Эффективность использования объектов постоянной лесосеменной базы для сохранения генофонда сосны обыкновенной в Беларуси // Сиб. лесн. журн. 2014. № 4. С. 59–63.

15. Коновалов В.Ф., Насырова Э.Р. Состояние и закономерности роста сосны обыкновенной на лесосеменных объектах республики Башкортостан // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2016. Т. 20, № 2. С. 60–65.

16. Мухина Ж.М., Дубина Е.В. Молекулярные маркеры и их использование в селекционно-генетических исследованиях // Науч. журн. КубГАУ. 2011. № 66(02). С. 1–11.

17. Пат. 2572313 Российская Федерация. Способ определения параметров сосны обыкновенной для оценки качества ее женской генеративной сферы / Иванов В.П., Марченко С.И., Нартов Д.И., Иванов Ю.И.; БГИТА. № 2014122834/13; опубл. 10.01.2016, Бюл. № 1.

18. Рабун А.С. Методы идентификации клонов сосны обыкновенной на лесосеменных плантациях // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2013. № 3(95). С. 7–10.

19. Рогозин М.В. Селекция сосны обыкновенной для плантационного выращивания: моногр. Пермь: Перм. гос. нац.-исслед. ун-т, 2013. 200 с.

20. Романовский М.Г., Хромова Л.В. Образование семян при самоопылении сосны обыкновенной // Лесоведение. 1992. № 5. С. 3–9.

21. Ткаченко А.Н. Лесное сортовое семеноводство в лесхозах Брянской области // Брянск: БГИТА, 1999. 96 с.

22. Durkaya A., Durkaya B., Atmaca S. Predicting the Above-ground Biomass of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) Stands in Turkey // Energy Sources, Part A. 2010. Vol. 32, iss. 5. Pp. 485–493.

23. Korshikov I.I., Demkovich A.E. Genetic Polymorphism of Plus-Tree Clones and Their Seed Progeny in the Scotch pine Clone Plantation // Cytology and Genetics. 2010. Vol. 44, no. 1. Pp. 28–36.

24. Mukassabi T.A., Polwart A., Coleshaw T., Thomas P.A. Scots pine Seed Dynamics on a Waterlogged Site // Trees. 2012. Vol. 26, iss. 4. Pp. 1305–1315.

25. Sivacioğlu A. Genetic Variation in Seed and Cone Characteristics in a Clonal Seed Orchard of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) Grown in Kastamonu-Turkey // Romanian Biotechnological Letters. 2010. Vol. 15, no. 6. Pp. 5695–5701.

26. Sivacioğlu A., Ayan S., Gelik D.A. Clonal Variation in Growth, Flowering and Cone Production in a Seed Orchard of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in Turkey // African Journal of Biotechnology. 2009. Vol. 8(17). Pp. 4084–4093.

27. Vanek O., Prochazkova Z., Matejka K. Analysis of the Genetic Structure of a Model Scots pine (*Pinus sylvestris*) Seed Orchard for Development of Management Strategies // Journal of Forest Science. 2013. Vol. 59, iss. 10. Pp. 377–387.

Поступила 26.02.18

UDC 630*232.3

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.19

Impact Assessment of Morphometric Characteristics of Cones on the Quality of Scots Pine Seed Material

V.P. Ivanov, Doctor of Biological Sciences, Professor

S.I. Marchenko, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

I.N. Glazun, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

D.I. Nartov, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

Bryansk State Engineering Technological University, pr. Stanke Dimitrova, 3, Bryansk, 241037, Russian Federation; e-mail: ivpinfo@mail.ru

The state of the reproductive system of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) characterizes the biological stability of plantations and the prospects for their development under the impact

For citation: Ivanov V.P., Marchenko S.I., Glazun I.N., Nartov D.I. Impact Assessment of Morphometric Characteristics of Cones on the Quality of Scots Pine Seed Material. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2018, no. 4, pp. 19–30. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.19

of various negative factors. Plantation seed industry should ensure the qualitative gene resources in specific conditions. Studies of the female reproductive sphere of pine are carried out on the first-order seed plantation created by planting grafted seedlings in the National Public Establishment of the Bryansk region “Navlinskoe forestry”. The most informative morphometric parameters of cones are analyzed: the length, average diameter, mass and shape of the cone, the number and weight of the seed scales of the fertile tier. We use the following indicators to assess the seed productivity: the number of ovules and full-grained seeds, mass and yield of full-grained seeds, number of normal sized seeds, weight of 1000 pcs. seeds of normal size, total number of undeveloped seeds, including empty ones. The obtained data are compared with similar characteristics of generative sphere of pine from the buffer zone of the Bryansk Forest reserve. The excess of morphometric parameters of cones from the reserve along the length, average values of diameter and mass, number and weight of seed scales over cones indices from the fields no. 1 and no. 3 of the seed-bearing plantation has been revealed. For most of the parameters, the cones from the field no. 3 prevail over the cones from the field no. 1. Pine cones from the reserve are preferable for most indicators as seed-bearing raw material than cones from the plantation. Evaluation of the indicators of seed productivity of pine on the plantation fields reveals the different ability of seeds to form normally developed seedlings. Seeds of cones from the field no. 1 are characterized only by the 3d class of quality (germination is 69 %). A low indicator of seed germination from the field no. 3 (60 %) does not allow indicating them as conditional (the threshold value for the Bryansk region is 65 %), although the cones from this field exceed the cones from the field no. 1 by the majority of parameters. We can obtain accurate information on the selection value of forest seed orchards of Scots pine due to the certification of forest seed plantations, marking trees according to a unified methodology for the optimal organization of forest seed production in the regions.

Keywords: Scots pine, female generative sphere, morphometric characteristic, forest-seed establishment, germination, laboratory germination, sowing quality of seed.

REFERENCES

1. Besschetnov V.P., Besschetnova N.N. Kompleksnaya otsenka plyusovykh derev'ev sosny obyknovennoy po parametram khvoi [Integrated Assessment of Plus Trees of a Scots Pine on the Needles Parameters]. *Vestnik Kazanskogo Gosudarstvennogo Agrarnogo Universiteta* [Vestnik of the Kazan State Agrarian University], 2012, no. 2, pp. 88–91.
2. Besschetnov V.P., Besschetnova N.N. Seleksionnaya otsenka plyusovykh derev'ev sosny obyknovennoy metodami mnogomernogo analiza [Scots Pine Elite Trees Selective Estimation by Means of Multivariate Analysis Method]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2012, no. 2, pp. 58–74.
3. Besschetnov V.P., Besschetnova N.N. Mnogomernaya otsenka plyusovykh derev'ev sosny obyknovennoy (*Pinus sylvestris* L.) po morfologicheskim parametram semyan [The Multivariate Analysis of the Plus-Trees of a Scots Pine (*Pinus Sylvestris* L.) on Morphometrical Parameters of Seeds]. *Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2013, no. 3(95), pp. 11–17.
4. Besschetnov V.P., Besschetnova N.N. Obrazovanie i lignifikatsiya ksilemy plyusovykh derev'ev sosny obyknovennoy [Formation and Lignification of Xylem of Scotch Pine Elite Trees]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2013, no. 2, pp. 45–57.
5. Besschetnova N.N. *Sosna obyknovennaya (Pinus sylvestris L.)*. Reproaktivnyy potentsial plyusovykh derev'ev [Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). Reproductive Potential of Plus Trees]. N. Novgorod, NSAA Publ., 2015. 586 p. (In Russ.)
6. Vakhnina I.L., Makarov V.P. Morfobiologicheskaya kharakteristika generativnykh organov sosny v prirodno-tekhnogennykh usloviyakh (Vostochnoe Zabaykalye) [Morphobiological Characteristics of Pine Generative Organs in the Natural and Anthropogenic Conditions (Eastern Zabaikal'sk)]. *Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2014, vol. 18, no. 5, pp. 20–25.

7. Vidyakin A.I. Effektivnost' plusovoy selektsii drevesnykh rasteniy [Efficiency of Plus Selection of Trees]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Conifers of the Boreal Area], 2010, vol. 27, no. 1-2, pp. 18–24.

8. Geras'kin S.A., Udalova A.A., Dikareva N.S., Mozolin E.M., Chernonog E.V., Prytkova Yu.S., Dikarev V.G., Novikova T.A. Biologicheskie efekty khronicheskogo oblucheniya v populyatsiyakh rasteniy [Biological Effects of Chronic Irradiation in Plant Populations]. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya* [Radiation Biology. Radioecology], 2010, vol. 50, no. 4, pp. 374–382.

9. Efimov Yu.P. Programma razvitiya semenovodstva sosny obyknovnoy v Tsentral'no-Chernozemnom regione Rossii [The Program of Development of Scots Pine Seed in the Central Black Earth Region of Russia]. *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI v.: teoriya i praktika* [Actual Directions of Scientific Researches of the 21st Century: Theory and Practice], 2013, no. 4, pp. 102–107.

10. Zatsepina K.G., Ekart A.K., Tarakanov V.V. Genotipirovanie derev'ev na klonovykh plantatsiyakh khvoynykh lesoobrazuyushchikh vidov v Zapadnoy Sibiri [Genotyping of Trees in Clonal Plantations of Coniferous Forest-Forming Species in Western Siberia]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Conifers of the Boreal Area], 2012, vol. 30, no. 1-2, pp. 67–71.

11. Ivanov V.P., Marchenko S.I., Glazun I.N., Nartov D.I., Ivanov Yu.V. Ispol'zovanie pokazateley razvitiya zhenskoy generativnoy sfery sosny obyknovnoy v ekologicheskom monitoringe [Application of Indicators of Scotch Pine's Female Generative Sphere Development in Environmental Monitoring]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia], 2012, no. 8, pp. 56–59.

12. Ivanov V.P., Marchenko S.I., Glazun I.N., Panicheva D.M., Ivanov Yu.V. Formirovanie zhenskikh shishek i semyan *Pinus sylvestris* (Pinaceae) v zone vozdeystviya vybrosov tsementnogo proizvodstva (Bryanskaya oblast') [The Development of Female Cones and Seeds in *Pinus Sylvestris* (Pinaceae) in the Emission Zone of Cement Factory (Bryansk Region)]. *Rastitel'nye resursy*, 2013, no. 4, pp. 547–557.

13. Ivanov V.P., Marchenko S.I., Zaytseva L.V., Ivanov Yu.V. Metodicheskie aspekty opredeleniya biometricheskikh parametrov shishek sosny obyknovnoy [Methodological Aspects of Scots Pine Cones Biometrics Determination]. *Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2012, no. 1(84), pp. 42–47.

14. Ivanovskaya S.I. Effektivnost' ispol'zovaniya ob"ektov postoyannoy lesesemnoy bazy dlya sokhraneniya genofonda sosny obyknovnoy v Belarusi [Efficiency of Using Permanent Seed Sources for Conservation of Genetic Pool of Scots pine (*Pinus Sylvestris* L.) in Belarus]. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* [Siberian Journal of Forest Science], 2014, no. 4, pp. 59–63.

15. Konovalov V.F., Nasyrova E.R. Sostoyanie i zakonomernosti rosta sosny obyknovnoy na lesesemennykh ob"ektakh respubliki Bashkortostan [State and Growth Regularities of Scots pine Forest Seed at the Objects of the Republic of Bashkortostan]. *Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2016, vol. 20, no. 2, pp. 60–65.

16. Mukhina Zh.M., Dubina E.V. Molekulyarnye markery i ikh ispol'zovanie v selektsionno-geneticheskikh issledovaniyakh [Molecular Markers and How to Use Them in Breeding and Genetic Researches]. *Nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Scientific Journal of KubSAU], 2011, no. 66, pp. 386–496.

17. Ivanov V.P., Marchenko S.I., Nartov D.I., Ivanov Yu.I. *Sposob opredeleniya parametrov sosny obyknovnoy dlya otsenki kachestva ee zhenskoy generativnoy sfery* [A Method for Determining the Parameters of Scots pine for Assessing the Quality of Its Female Generative Sphere]. Patent RF, no. 2572313, 2016.

18. Rabtsun A.S. Metody identifikatsii klonov sosny obyknovnoy na lesesemennykh plantatsiyakh [Methods of Identification of Clones of the Pine Ordinary on the Forest Seed Plantations]. *Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2013, no. 3(95), pp. 7–10.

19. Rogozin M.V. *Selektsiya sosny obyknovennoy dlya plantatsionnogo vyrashchivaniya* [Selection of Scots pine for Plantation Cultivation]. Perm, PSU Publ., 2013. 200 p. (In Russ.)

20. Romanovskiy M.G., Khromova L.V. *Obrazovanie semyan pri samoopylenii sosny obyknovennoy* [Seed Development in Self-Pollination of *Pinus sylvestris* L.]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1992, no. 5, pp. 3–9.

21. Tkachenko A.N. *Lesnoe sortovoe semenovodstvo v leskhozakh Bryanskoy oblasti* [Forest Varietal Seed Growing in the Forestry Enterprises of the Bryansk Region]. Bryansk, BSETA Publ., 1999. 96 p. (In Russ.)

22. Durkaya A., Durkaya B., Atmaca S. Predicting the Above-ground Biomass of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) Stands in Turkey. *Energy Sources, Part A*, 2010, vol. 32, iss. 5, pp. 485–493.

23. Korshikov I.I., Demkovich A.E. Genetic Polymorphism of Plus-Tree Clones and Their Seed Progeny in the Scotch pine Clone Plantation. *Cytology and Genetics*, 2010, vol. 44, no. 1, pp. 28–36.

24. Mukassabi T.A., Polwart A., Coleshaw T., Thomas P.A. Scots pine Seed Dynamics on a Waterlogged Site. *Trees*, 2012, vol. 26, iss. 4, pp. 1305–1315.

25. Sivacioğlu A. Genetic Variation in Seed and Cone Characteristics in a Clonal Seed Orchard of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) Grown in Kastamonu-Turkey. *Romanian Biotechnological Letters*, 2010, vol. 15, no. 6, pp. 5695–5701.

26. Sivacioğlu A., Ayan S., Gelik D.A. Clonal Variation in Growth, Flowering and Cone Production in a Seed Orchard of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in Turkey. *African Journal of Biotechnology*, 2009, vol. 8(17), pp. 4084–4093.25.

27. Vanek O., Prochazkova Z., Matejka K. Analysis of the Genetic Structure of a Model Scots pine (*Pinus sylvestris*) Seed Orchard for Development of Management Strategies. *Journal of Forest Science*, 2013, vol. 59, iss. 10, pp. 377–387.

Received on February 26, 2018

УДК 630*231+630*232

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.31

ДИНАМИКА РОСТА СОСНЫ В СТАРОВОЗРАСТНЫХ ДРЕВОСТОЯХ СЛОЖНОГО БОРА

М.Д. Мерзленко, д-р с.-х. наук, проф., гл. науч. сотр.

Ю.Б. Глазунов, канд. с.-х. наук, зав. лаб.

Ю.Г. Львов, инж.-исслед.

Е.А. Первалова, асп.

Институт лесоведения РАН, ул. Советская, д. 21, с. Успенское, Московская обл., Россия, 143030; e-mail: md.merzlenko@mail.ru, glazunov@ilan.ras.ru, root@ilan.ras.ru, perevalva.evgenija@rambler.ru

Изучены старовозрастные сосняки сложного бора, произрастающие в Серебряноборском опытном лесничестве (запад Московской области). Использованы материалы многолетних переучетов на 5 постоянных пробных площадях. Результаты исследований являются итогом изучения динамики роста сосны по 186-летний возраст включительно. Для всех сосняков сложного бора характерно многоярусное строение: первый ярус представлен основным элементом леса – сосной обыкновенной; второй слагается из липы и березы; третий – из рябины. Графический анализ динамики роста по диаметру, высоте, сумме площадей сечений и запасу стволовой древесины свидетельствует об относительно стабильном росте сосны в старовозрастных древостоях. В возрасте 160–180 лет сохраняется положительный текущий прирост по запасу стволовой древесины, что в совокупности с оценкой по категориям санитарного состояния деревьев указывает на отсутствие признаков распада сосняка. Дендрохронологическое исследование, выполненное в возрасте 186 лет, показало, что прирост по диаметру деревьев после заметного снижения в возрасте 100–110 лет в целом остается стабильным, имея незначительную тенденцию к снижению. Однако многие деревья поражены сердцевинной гнилью, что указывает на приближение возраста естественной спелости, который может составить 200–220 лет.

Ключевые слова: сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), естественный древостой, динамика роста, лесоводственный эффект, текущий прирост.

Введение

По образному выражению проф. В.Я. Добровлянского [2], сосна является национальным русским деревом. Сосне обыкновенной и сосновым лесам как в России, так и за рубежом посвящено много работ [5, 6, 8–10, 14–20 и др.].

Старовозрастные естественные насаждения сосны представляют большую ценность с точки зрения изучения продолжительности жизни сосны и ее дендроценозов. Имеет значительный научный интерес установление закономерностей развития древостоев до их предельного возраста с учетом того, что в региональном разрезе нет точных данных по возрасту естественной спелости сосновых насаждений.

Лесорастительные условия сложных боров позволяют формировать высокопродуктивные насаждения сосны, столь необходимые для интенсивного ведения лесного хозяйства. Поэтому целью наших исследований являлось

Для цитирования: Мерзленко М.Д., Глазунов Ю.Б., Львов Ю.Г., Первалова Е.А. Динамика роста сосны в старовозрастных древостоях сложного бора // Лесн. журн. 2018. № 4. С. 31–39. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.31

изучение динамики роста сложного бора и определение ожидаемого возраста естественной спелости старовозрастных сосняков с использованием текущего прироста по запасу стволовой древесины.

Объекты и методы исследования

Исследования проведены на территории Серебряноборского опытного лесничества Института лесоведения Российской академии наук (запад Московской области). Высоковозрастные сосняки лесничества являются самыми старыми и наиболее сохранившимися на территории Московского региона [14]. В сложных сосняках в разные годы по инициативе акад. В.Н. Сукачева было заложено 5 постоянных пробных площадей (ППП) на третьей надпойменной террасе Москвы-реки. По классификации А.А. Крюденера [4, 5] лесорастительные условия соответствуют наземистому бору. Почвы бурые оподзоленные песчано-супесчаные [11] (рис. 1).

На ППП регулярно с середины XX в. сотрудниками Института лесоведения выполняется инструментальная таксация. С использованием результатов всех переучетов за многолетний период аналитически установлена динамика роста сосны и накопления запасов стволовой древесины. Дополнительно на ППП № 1 для дендрохронологического анализа возрастным буравом были взяты керны древесины у 6 средних деревьев на высоте 1,3 м. Для каждого дерева по 4 направлениям отобраны керны, по которым определялись радиальные приросты и рассчитывался прирост по диаметру.

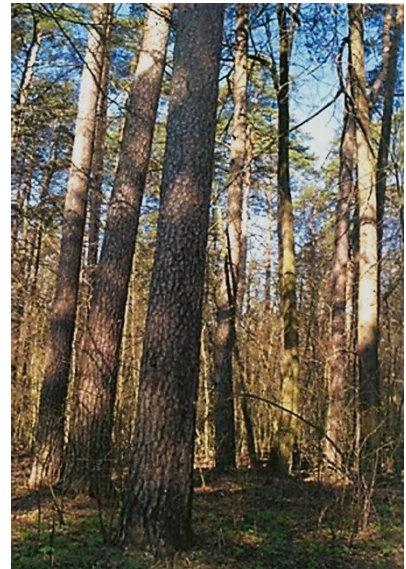


Рис. 1. Серебряноборское опытное лесничество. Сосняк в квартале 5 (фото К.В. Захарова)

Результаты исследования и их обсуждение

Самым старым и наиболее представленным объектом исследований в лесничестве является ППП № 1, отражающая старовозрастный сложный сосняк, достигший 186-летнего возраста (табл. 1), в котором сосна образует господствующий ярус. Второй ярус занимают естественно подсевившаяся липа и береза, третий – рябина. Деревья сосны имеют среднюю высоту (H) 33,6 м, что соответствует I классу бонитета по шкале М.М. Орлова; относительная полнота соснового элемента леса – 0,8; средний диаметр (D) – 58,6 см; запас стволовой древесины (M) – 573 м³/га.

Таблица 1

Таксационная характеристика 186-летнего сосняка на ППП № 1

Порода	Ярус	Средние		N , шт./га	G , м ² /га	M , м ³ /га
		H , м	D , см			
Сосна	1	33,6	58,6	142	38,2	573
Липа	2	23,5	22,7	115	4,7	49
Береза	2	26,3	33,1	40	3,4	38
Рябина	3	13,0	10,5	116	1,0	6

Примечание. N – численность деревьев; G – сумма площадей поперечных сечений.

Для столь значительного возраста у сосняка на ППП № 1 не наблюдаются признаки распада, и состояние древостоя сосны можно считать удовлетворительным, что объективно можно оценить, учитывая категории состояния деревьев [3]. Процентное соотношение категорий состояния сосны обыкновенной отображено на рис. 2.

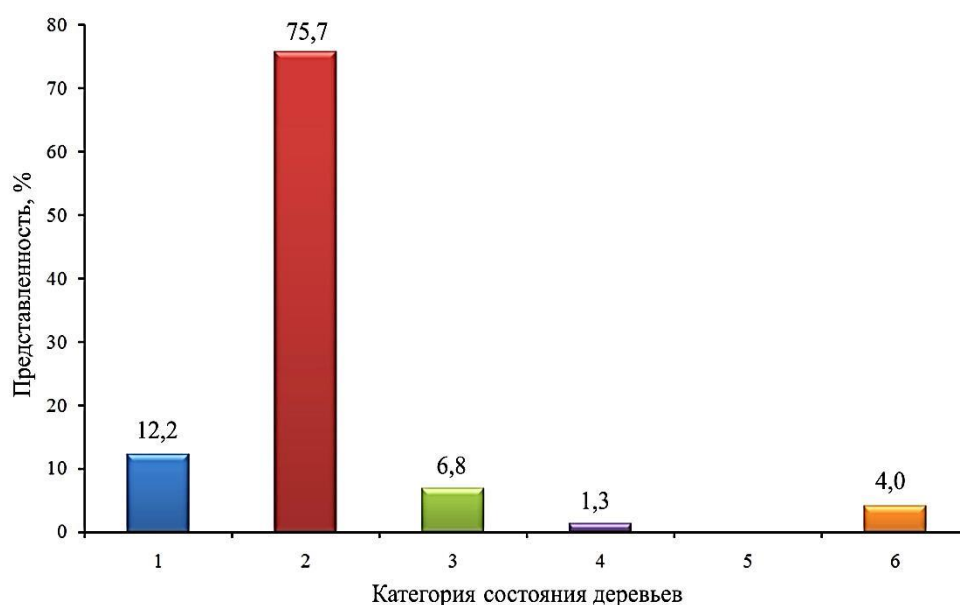


Рис. 2. Представленность деревьев сосны различных категорий состояния в 186-летнем древостое: 1 – без признаков ослабления; 2 – ослабленные; 3 – сильно ослабленные; 4 – усыхающие; 5 – свежий сухостой; 6 – старый сухостой

Максимальное количество здоровых (не имеющих признаков ослабления) деревьев составляет 12,2 %. Большая часть (75,7 %) относится ко 2-й категории состояния (ослабленные); 6,8 % – к 3-й категории состояния (сильно ослабленные). Усыхающих деревьев насчитывается всего 1,3 %. В этом старовозрастном естественном насаждении полностью отсутствует свежий сухостой. Средняя категория санитарного состояния – 2,1. В целом санитарное состояние неплохое, если учесть, что ППП № 1 расположена в пределах Москвы и на расстоянии 250 м от оживленной Московской кольцевой автодороги. Следует отметить, что как на этой ППП, так и на остальных четырех ППП, находящихся за пределами города, рубки промежуточного пользования в последние 70 лет не велись.

С использованием данных [10–12] и результатов наших исследований по всем ППП был выполнен анализ динамики роста сосны по высоте, диаметру, сумме площадей поперечных сечений древостоя, а также по накоплению стволового запаса древостоя и численности деревьев (рис. 3–7).

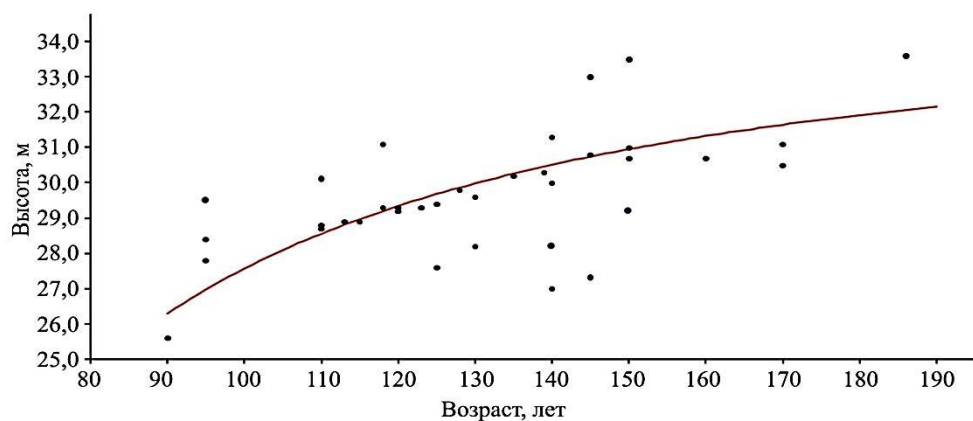


Рис. 3. Динамика роста древостоев сосны по высоте

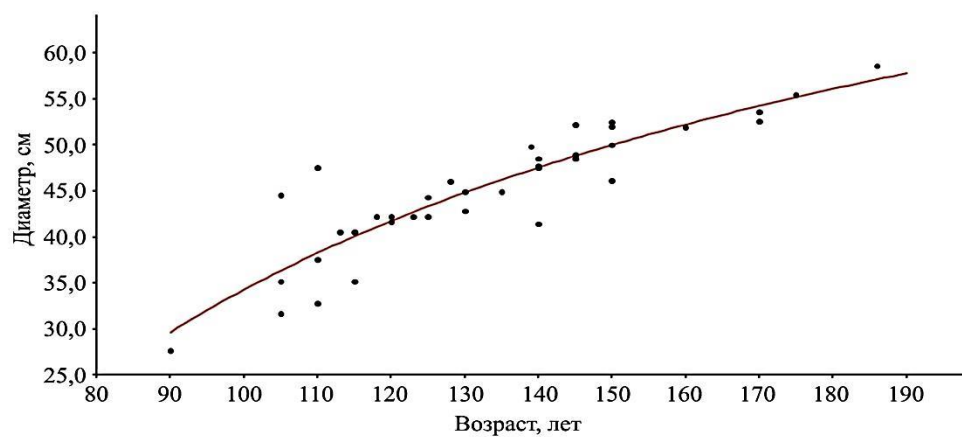


Рис. 4. Динамика роста древостоев сосны по диаметру

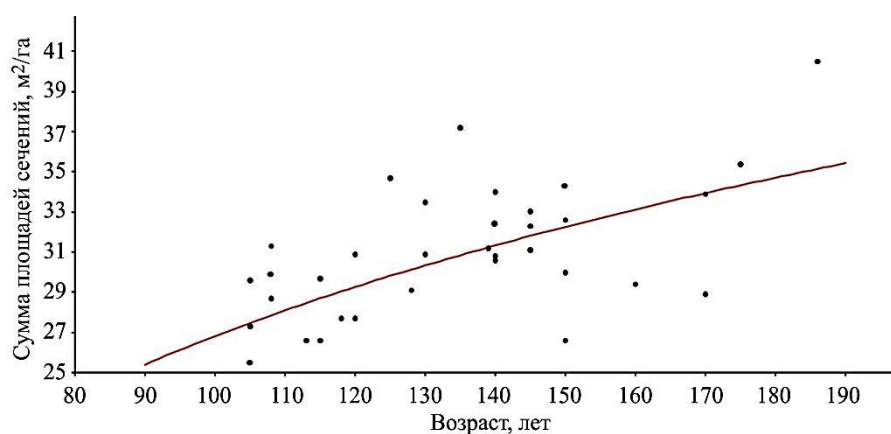


Рис. 5. Динамика сумм площадей поперечных сечений деревьев сосны

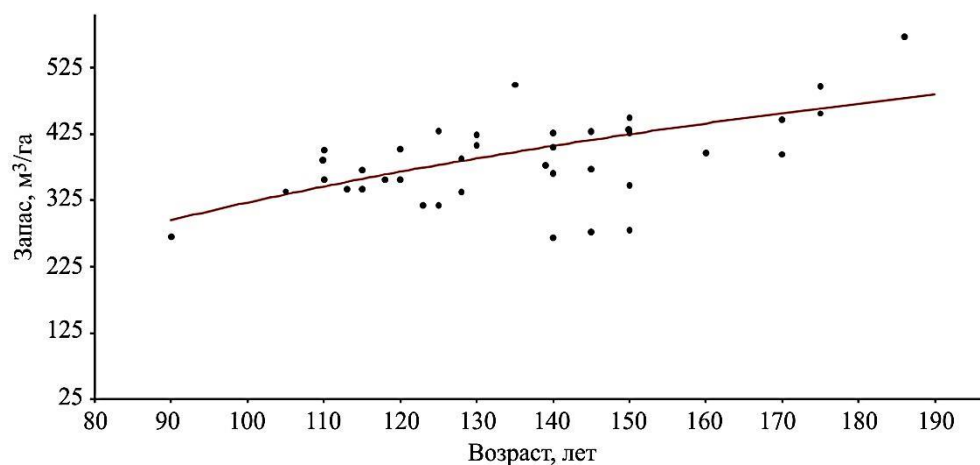


Рис. 6. Динамика накопления запаса стволовой древесины

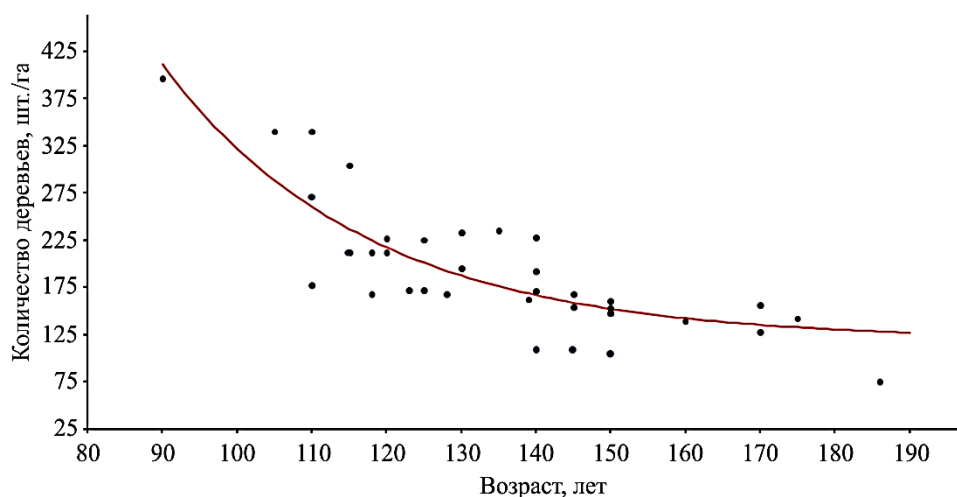


Рис. 7. Динамика численности деревьев сосны

Естественное изреживание (рис. 7) после 150 лет стало затухать: если в возрасте от 100 до 140 лет на 1 га выпало 155 сосен, то от 140 до 180 лет (т. е. за последние 40 лет) – гораздо меньше (только 36 экз.). По всем таксационным показателям (см. рис. 3–6) резкое замедление ростовых процессов отсутствует. Лишь по средней высоте, и то за относительно большой срок (последние 80 лет), текущий прирост уменьшился в 3 раза (табл. 2).

Таблица 2

Текущий прирост по таксационным показателям старовозрастных сосняков

Текущий годовой прирост	Текущий прирост по возрастным периодам, лет			
	100–120	120–140	140–160	160–180
Z_h , м	0,09	0,06	0,04	0,03
Z_d , см	0,37	0,29	0,24	0,19
Z_g , м ²	0,12	0,10	0,09	0,08
Z_m , м ³	2,3	2,0	1,7	1,5

Примечание. Z_h , Z_d , Z_g , Z_m – текущий прирост соответственно по высоте, диаметру, сумме площадей сечений деревьев и запасу стволовой древесины.

Сохраняется положительный текущий прирост по запасу стволовой древесины. Это указывает на то, что к 180 годам древостои сосны в сложных борах Серебряноборского лесничества еще не достигли возраста естественной спелости.

Исследование радиальных приростов древесины по кернам на ППП № 1 показало, что ежегодные приросты годичного слоя в возрасте 60–80 и 80–100 лет составили соответственно 3,47 и 3,51 мм*. Значительные колебания приростов, как в этот период, так и в более поздние, соответствовали погодным аномалиям, прежде всего засухам. Резкое снижение годичных приростов, обусловленное биологическими причинами, произошло в возрасте 100–110 лет, после чего и до настоящего времени прирост снижался постепенно (рис. 8).

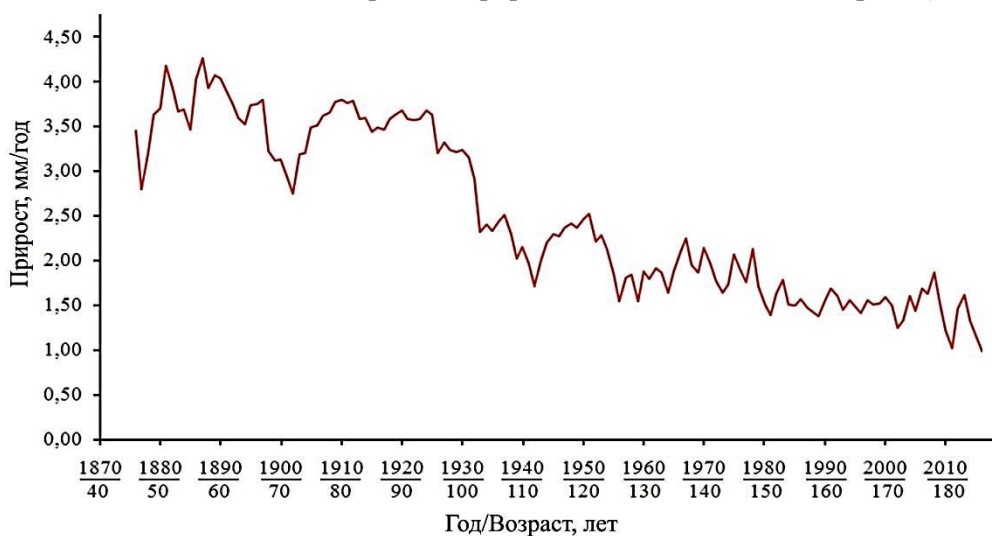


Рис. 4. Приросты годичных слоев на высоте 1,3 м, определенные по кернам

В возрасте 100–120 лет прирост был равен 2,33 мм/год, в последующие 20-летние периоды, вплоть до 180 лет, – 1,95; 1,67 и 1,52 мм/год соответственно.

У всех 6 деревьев, подвергнутых бурению, были обнаружены следы сердцевинной гнили в различной стадии: от гниlostной окраски до сильной гнили на некоторых из кернов. Вероятнее всего, гниль вызвана сосновой губкой (*Phellinus pini* (Thore. Fr.)), поражающей, как правило, сосновые древостои старших возрастов. Для данного возбудителя характерно длительное скрытое течение болезни, пораженные деревья на протяжении значительного периода могут не иметь признаков ослабления. Однако распространенность гнили в данном насаждении указывает на приближение возраста естественной спелости. Обычно считается [1, 7], что возраст естественной спелости у древостоев сосны 200 лет. Можно с уверенностью предположить, что и в старовозрастных сосняках Серебряноборского лесничества он будет почти таким же (200–220 лет). При этом естественное возобновление сосны под пологом старовозрастных сосняков полностью отсутствует [10–13].

*Приросты по диаметрам, определенные по кернам, не вполне эквивалентны приростам, приведенным в табл. 2, поскольку при расчете последних учитывались средние диаметры деревьев в коре на ППП.

Заключение

Старовозрастные сосняки Серебряноборского лесничества представляют собой уникальные естественные древостои, в IX классе возраста не имеющие признаков распада и сохраняющие положительный текущий прирост по запасу стволовой древесины.

Динамика естественного отпада после 150 лет имеет тенденцию к замедлению. При наличии подавляющего числа ослабленных деревьев отсутствует свежий сухостой, усыхающие деревья составляют всего лишь 1,3 % от общего количества.

Вместе с тем в наиболее старовозрастном насаждении, средний возраст которого на момент последнего обследования 186 лет, многие деревья поражены сердцевинной гнилью, что указывает на приближение возраста естественной спелости данного древостоя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусев Н.Н., Заварзин В.В., Солдатов В.А. Лесоустройство. М.: ВНИИЛМ, 2004. 288 с.
2. Добровлянский В.Я. Из русских лесов. СПб., 1888. 132 с.
3. Кобельков М.Е., Чуканов М.А., Хотин Д.В. Категории состояния основных лесобразующих пород Московской области / Центр защиты леса Моск. обл.; Моск. упр. лесами; Гринпис России. М., 2000. 40 с.
4. Крюденер А.А. Из впечатлений о типах насаждений Беловежской пуши и об опустошениях, произведенных в ней монашкой // Лесн. журн. 1909. Вып. 1. С. 1–26.
5. Крюденер А.А. Основы классификации типов насаждений и их народнохозяйственное значение в обиходе страны. Ч. I–II. Петроград: Тип. Гл. упр. уделов, 1916–1917. 318 с.
6. Молчанов А.А. Сосновый лес и влага. М.: Изд-во АН СССР, 1953. 139 с.
7. Мурахтанов Е.С., Моисеев Н.А., Мороз П.И., Столяров Д.П. Лесоустройство. М.: Лесн. пром-сть, 1983. 344 с.
8. Орлов А.Я., Кошельков С.П. Почвенная экология сосны. М.: Наука, 1971. 323 с.
9. Правдин Л.Ф. Сосна обыкновенная. М.: Наука, 1964. 192 с.
10. Рысин Л.П. Биогеоценология лесов сосны обыкновенной. М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2015. 303 с.
11. Рысин Л.П. Мониторинг лесных биогеоценозов // Серебряноборское опытное лесничество: 65 лет лесного мониторинга. М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2010. С. 32–59.
12. Рысин Л.П., Вакуров А.Д., Павлова В.Ф. Значение постоянных пробных площадей в лесоводственных исследованиях // Лесоведение. 1981. № 1. С. 60–66.
13. Рысин Л.П., Шмальгаузен В.И. О влиянии древостоя и подлеска на подрост посредством корневой конкуренции в сложных борах Подмосковья // Стационарные биогеоценологические исследования в южной подзоне тайги: сб. ст. М.: Наука, 1964. С. 90–99.
14. Самойлов Б.Л., Захаров К.В. Сосна и ель в Москве. М.: Департамент природопользования и охраны окружающей среды г. Москвы, 2004. 416 с.
15. Тюрин А.В. Основы хозяйства в сосновых лесах. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1952. 112 с.
16. Amman G. Baume und Straucher des Waldes. Leipzig: Neumann Verlag, 1968. 231 p.
17. Bialobok S., Boratynski A., Bugala W., eds. Biologia sosny zwyczajnej [Biology of Scots Pine]. Poznan-Kornik: Sorus, 1993. 624 p.
18. Bugala W. Drzewa i krzewy [Trees and Shrubs]. Warszawa: Panstwowe Wydawnictwo Rolnize i Lesne, 2000. 614 p.

19. Gadow K.V. Waldstruktur und Wachstum [Forest Structure and Growth]. Universitätsdrucke Göttingen, 2003. 241 p.

20. Krusmann G. Die Nadelgehölze [The Pinewood]. Berlin; Hamburg: Verlag Paul Parey, 1979. 264 p.

Поступила 15.01.18

UDC 630*231+630*232

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.31

Pine Growth Dynamics in Old-Aged Stands of a Multi-Storeyed Coniferous Forest

M.D. Merzlenko, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Chief Research Scientist

Yu.B. Glazunov, Candidate of Agricultural Sciences, Head of Laboratory

Yu.G. L'vov, Research Engineer

E.A. Perevalova, Postgraduate Student

Institute of Forest Science of the Russian Academy of Sciences, ul. Sovetskaya, 21, Uspenskoe, Moscow region, 143030, Russian Federation; e-mail: md.merzlenko@mail.ru, glazunov@ilan.ras.ru, root@ilan.ras.ru, perevalva.evgenija@rambler.ru

The paper presents the study of old-aged pine forests (*Pinetum compositum*), growing in the Serebryanoborsk experimental forestry (west of the Moscow region). The materials of perennial inventories at five permanent trial plots are used. The research results are the summary of studying the growth dynamics of pine aged to 186 years. A multilayered structure is typical for all pine stands of a multi-storeyed coniferous forest: the first tier consists of the main element – Scots pine; the second is composed of linden and birch; the third – of rowan. Graphical analysis of the growth dynamics in diameter, height, crop basal area and stemwood volume indicates a relatively stable growth of pine in old-aged stands. A positive current increase in the stemwood stock remains at the age of 160–180 years, which, together with an assessment of the tree health status, indicates the absence of signs of decay of a pine forest. A dendrochronological research performed at the age of 186 years shows that the tree growth in diameter, after a noticeable decrease in the age of 100–110 years, as a whole remains stable, with a slight tendency to decrease. At the same time, many trees are affected by heart rot, which indicates the approach of the age of the natural maturity, which can be 200–220 years.

Keywords: Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), natural forest stand, growth dynamics, silvicultural effect, basic wood increment.

REFERENCES

1. Gusev N.N., Zavarzin V.V., Soldatov V.A. *Lesoustroystvo* [Forest Management]. Moscow, ARRISMF Publ., 2004. 288 p. (In Russ.)

2. Dobrovlyanskiy V.Ya. *Iz russkikh lesov* [From the Russian Forests]. Saint Petersburg, 1888. 132 p. (In Russ.)

3. Kobel'kov M.E., Chukanov M.A., Khotin D.V. *Kategorii sostoyaniya osnovnykh lesoobrazuyushchikh porod Moskovskoy oblasti* [Status Categories of the Main Forest-Forming Species of the Moscow Region]. Tsentr zashchity lesa Mosk. obl.; Mosk. upr. lesami; Grinpis Rossii [Forest Protection Center of the Moscow Region; Moscow Forest Management Centre; Greenpeace Russia]. Moscow, 2000. 40 p. (In Russ.)

For citation: Merzlenko M.D., Glazunov Yu.B., L'vov Yu.G., Perevalova E.A. Pine Growth Dynamics in Old-Aged Stands of a Multi-Storeyed Coniferous Forest. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2018, no. 4, pp. 31–39. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.31

4. Kryudener A.A. Iz vpechatleniy o tipakh nasazhdeniy Belovezhskoy pushchi i ob upustosheniyakh, proizvedennykh v ney monashenkoy [The Impressions about the Stand Types of the Belovezhskaya Pushcha and Devastation Made by Nun Moth (*Lymantria monacha*)]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 1909, no. 1, pp. 1–26.
5. Kryudener A.A. *Osnovy klassifikatsii tipov nasazhdeniy i ikh narodnokhozyaystvennoye znacheniyе v obikhode strany. Ch. I-II* [The Basis for the Classification of Stand Types and Their National Economic Importance in the Everyday Life of the Country. Part I–II]. Petrograd, 1916–1917. 318 p. (In Russ.)
6. Molchanov A.A. *Sosnovyy les i vlaga* [Pine Forest and Moisture]. Moscow, AS USSR Publ., 1953. 139 p. (In Russ.)
7. Murakhtanov E.S., Moiseev N.A., Moroz P.I., Stolyarov D.P. *Lesoustroystvo* [Forest Management]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1983. 344 p. (In Russ.)
8. Orlov A.Ya., Koshel'kov S.P. *Pochvennaya ekologiya sosny* [Soil Ecology of Pine]. Moscow, Nauka Publ., 1971. 323 p. (In Russ.)
9. Pravdin L.F. *Sosna obyknovennaya* [Scots Pine]. Moscow, Nauka Publ., 1964. 192 p. (In Russ.)
10. Rysin L.P. *Biogeotsenologiya lesov sosny obyknovennoy* [Biogeocenology of Scots pine Forests]. Moscow, KMK Publ. house, 2015. 303 p. (In Russ.)
11. Rysin L.P. Monitoring lesnykh biogeotsenozov [Monitoring of Forest Biogeocenoses]. *Serebryanoborskoye opytnoye lesnichestvo: 65 let lesnogo monitoringa* [Serebryanoborsk Experimental Forestry: 65 Years of Forest Monitoring]. Moscow, KMK Publ. house, 2010, pp. 32–59. (In Russ.)
12. Rysin L.P., Vakurov A.D., Pavlova V.F. Znachenie postoyannykh probnykh ploshchadey v lesovodstvennykh issledovaniyakh [The Value of Permanent Trial Plots in Silvicultural Research]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1981, no. 1, pp. 60–66.
13. Rysin L.P., Shmal'gauzen V.I. O vliyaniy drevostoya i podleska na podrost posredstvom kornevoy konkurentsii v slozhnykh borakh Podmoskov'ya [On the Effect of the Stand and Forest Understory on Undergrowth by Means of Root Competition in Multi-Storeyed Coniferous Forests in the Moscow Region]. *Statsionarnye biogeotsenoticheskie issledovaniya v yuzhnoy podzone taygi: sb. st.* [Stationary Biogeocoenotic Research in the Southern Taiga Subzone]. Moscow, Nauka Publ., 1964, pp. 90–99. (In Russ.)
14. Samoylov B.L., Zakharov K.V. *Sosna i el' v Moskve* [Pine and Spruce in Moscow]. Moscow, Department of Nature Management and Environmental Protection, 2004. 416 p. (In Russ.)
15. Tyurin A.V. *Osnovy khozyaystva v sosnovykh lesakh* [Fundamentals of the Economy in Pine Forests]. Moscow; Leningrad, Goslesbumizdat Publ., 1952. 112 p. (In Russ.)
16. Amman G. *Baume und Straucher des Waldes*. Leipzig, Neumann Verlag, 1968. 231 p.
17. Bialobok S., Boratynski A., Bugala W., eds. *Biologia sosny zwyczajnej* [Biology of Scots pine]. Poznan-Kornik, Sorus, 1993. 624 p.
18. Bugala W. *Drzewa i krzewy* [Trees and Shrubs]. Warszawa, Panstwowe Wydawnictwo Rolnize i Lesne, 2000. 614 p.
19. Gadov K.V. *Waldstruktur und Wachstum* [Forest Structure and Growth]. Universitatsdrucke Gottingen, 2003. 241 p.
20. Krusmann G. *Die Nadelgehölze* [The Pinewood]. Berlin; Hamburg, Verlag Paul Parey, 1979. 264 p.

Received on January 15, 2018

УДК 349.6:[630*23+630*64]

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.40

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫХ ДОКУМЕНТОВ, РЕГЛАМЕНТИРУЮЩИХ ПРОЕКТИРОВАНИЕ НА ЛЕСНЫХ УЧАСТКАХ

А.А. Добровольский, канд. с.-х. наук, доц.

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова,
Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия, 194021;

e-mail: alexander-83@yandex.ru

Рассмотрены вопросы лесного проектирования на лесных участках, переданных в пользование. Проанализированы нормативно-правовые документы, на основании которых такое проектирование осуществляется, представлены практические аспекты их применения. Действующее лесное законодательство в области использования лесных ресурсов постоянно трансформируется, однако многие вопросы остаются не решенными на протяжении длительного времени, что затрудняет реализацию права на использование лесов добросовестными лесопользователями, а также ограничивает возможности надзорных и контрольных органов выполнять свои обязанности в рамках возложенных на них функций. Выявлен ряд особенностей разработки проектов освоения лесов на лесных участках, переданных в пользование по договорам аренды, постоянного (бессрочного) пользования и безвозмездного пользования. Приведены примеры из правоприменительной практики. Проанализированы пробелы в законодательстве, связанные с регулированием деятельности лесопользователей в рамках заключенных договоров безвозмездного пользования, даны рекомендации по их устранению. Представлен анализ особенностей проектирования объектов, не связанных с созданием лесной инфраструктуры, на лесных участках, которые используются для целей, не связанных с заготовкой древесины. Предложено внести ряд изменений в следующие нормативно-правовые документы, регулирующие деятельность в области использования лесов: Лесной кодекс Российской Федерации (в части обязанностей по разработке проектов освоения лесов); приказ Федерального агентства лесного хозяйства России от 29.02.2012 г. № 69 «Об утверждении состава проекта освоения лесов и порядка его разработки» (в раздел, определяющий условия для внесения изменений в проект освоения лесов); распоряжение Правительства РФ от 27.05.2013 г. № 849-р «О перечне объектов, не связанных с созданием лесной инфраструктуры, для защитных лесов, эксплуатационных лесов, резервных лесов» (в части расширения перечня возможных объектов, не связанных с созданием лесной инфраструктуры).

Ключевые слова: документы лесного планирования, проект освоения лесов, лесной участок.

Представленное исследование посвящено проблемам лесного проектирования и анализу документов, на основании которых такое проектирование осуществляется.

С момента выхода Лесного кодекса [1] (далее – ЛК РФ) в 2006 г. законодательство в области использования лесов претерпело череду изменений,

Для цитирования: Добровольский А.А. Некоторые особенности нормативно-правовых документов, регламентирующих проектирование на лесных участках // Лесн. журн. 2018. № 4. С. 40–48. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.40

однако до сих пор остается ряд нерешенных проблем правового характера, которые не позволяют реализовывать органам исполнительной власти свои полномочия, а лесопользователям – свои права. При этом вопросы лесопользования в условиях российского законодательства актуальны не только для нашей страны, но и за рубежом, в первую очередь в скандинавских странах, где также пытаются понять тонкости и особенности правового регулирования в области использования лесных ресурсов России [12, 13].

В соответствии с действующим лесным законодательством Российской Федерации существующие уровни лесного планирования и лесного проектирования условно можно разделить на следующие: лесной план субъекта Российской Федерации; лесохозяйственный регламент лесничества (лесопарка); проект освоения лесов лесного участка.

Вопросы лесного планирования отражены в гл. 10 «Управление в области использования, охраны, защиты, воспроизводства лесов» ЛК РФ, где устанавливается система взаимоувязанных документов, разрабатываемых в целях обеспечения управления в области использования, охраны, защиты, воспроизводства лесов. Эта система состоит из лесных планов субъектов Российской Федерации, лесохозяйственных регламентов лесничеств (лесопарков), а также проектов освоения лесов.

В литературе по вопросам лесного хозяйства нередко можно встретить утверждение, что все перечисленные документы относятся к документам лесного планирования. Это утверждение ошибочно.

Согласно ст. 85 ЛК РФ документом лесного планирования является только *лесной план субъекта Российской Федерации*, а остальные (лесохозяйственный регламент лесничества (лесопарка) и проект освоения лесов) считаются документами, обеспечивающими управление использованием, охраной, защитой, воспроизводством лесов [10].

Лесной план субъекта Российской Федерации разрабатывается на срок 10 лет. В нем определяются цели и задачи лесного планирования, мероприятия по осуществлению планируемого освоения лесов, расположенных в границах лесничеств и лесопарков на территории субъекта Российской Федерации, и зоны освоения [2]. Таким образом, лесной план субъекта Российской Федерации относится к документам стратегического планирования, которые разрабатываются на долгосрочный период.

Типовая форма и состав лесного плана субъекта Российской Федерации, порядок его подготовки и внесения в него изменений устанавливаются в соответствии со ст. 86 ЛК РФ уполномоченным федеральным органом исполнительной власти. В настоящее время это Федеральное агентство лесного хозяйства России (Рослесхоз).

Документом, определяющим состав лесного плана, а также порядок его разработки и внесения в него изменений, является приказ Рослесхоза от 05.10.2011 г. № 423 «Об утверждении типовой формы и состава лесного плана субъекта Российской Федерации, порядка его подготовки» [5]. Следует отметить, что в настоящий момент Минприроды России подготовлен проект приказа «Об утверждении типовой формы и состава лесного плана субъекта Российской Федерации, порядка его подготовки и внесения в него изменений» (по состоянию на 11.10.2017 г.) [8]. Предполагается, что приказ Рослесхоза № 423, которым ранее была утверждена форма плана, в скором времени будет признан утратившим силу.

Лесохозяйственный регламент лесничества (лесопарка) также является основой осуществления использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов, расположенных в границах соответствующего лесничества (лесопарка). Он также разрабатывается на срок 10 лет [7].

По общему правилу лесохозяйственный регламент утверждается исполнительными органами субъектов РФ, однако из этого правила есть исключения. Так, если лесничество (лесопарк) расположен в границах субъекта РФ, плотность населения которого в 15 раз превышает среднюю плотность населения РФ [7], а также на землях, принадлежащих Министерству обороны и МЧС России, землях особо охраняемых природных территорий, соответствующий регламент утверждается уполномоченным федеральным органом исполнительной власти. Если же лесничество (лесопарк) расположен в границах земель, находящихся в муниципальной собственности, его лесохозяйственный регламент утверждается органом местного самоуправления [1].

Согласно ст. 87 ЛК РФ в лесохозяйственном регламенте для каждого конкретного лесничества (лесопарка) устанавливаются [1]:

виды разрешенного использования лесов, определяемые в соответствии со ст. 25 ЛК РФ;

возрасты рубок, расчетная лесосека, сроки использования лесов и другие параметры их разрешенного использования;

ограничение использования лесов в соответствии со ст. 27 ЛК РФ;

требования к охране, защите, воспроизводству лесов.

Как видно из приведенных сведений, в лесохозяйственном регламенте никакое планирование деятельности не осуществляется, но в нем приводятся требования и условия, при соблюдении которых допускается использование, охрана, защита, воспроизводство лесов в границах лесничества (лесопарка). В части нормативов, параметров и сроков использования лесов документом регламентируются максимальные допустимые объемы изъятия лесных ресурсов и нормы допустимой нагрузки на леса, которые нельзя превышать. В части установления требований к охране, защите, воспроизводству лесов в нем приводится минимально необходимый перечень мероприятий, без проведения которых не обойтись. В то же время, если позволяют финансовые и иные ресурсы, мероприятия по охране, защите, воспроизводству лесов могут быть проведены и в большем объеме.

Таким образом, лесохозяйственный регламент лесничества (лесопарка) является инструментом управления лесами, разрабатываемым для условий конкретного лесничества (лесопарка).

Другой документ управления лесами – *проект освоения лесов*. Он разрабатывается лицами, которым лесные участки предоставлены в аренду или постоянное (бессрочное) пользование.

В проекте освоения лесов содержатся сведения о разрешенных видах и проектируемых объемах использования лесов, мероприятиях по охране, защите и воспроизводству лесов, созданию объектов лесной и лесоперерабатывающей инфраструктуры, охране объектов животного мира и водных объектов, а в случаях, предусмотренных ч. 1 ст. 21 ЛК РФ, и о мероприятиях по строительству, реконструкции и эксплуатации объектов, не связанных с созданием лесной инфраструктуры. Проект вступает в силу после получения положительного заключения государственной или муниципальной экспертизы.

Следует отметить одну особенность проекта – требования к лесопользователю при разработке проекта освоения лесов содержатся в договоре, на основании которого ему предоставлен лесной участок. Форма типового договора аренды лесного участка определяется несколькими нормативно-правовыми актами. Так, для лесных участков, расположенных на землях лесного фонда, форма типового договора аренды установлена постановлением Правительства РФ от 21.09.2015 г. № 1003 «О типовом договоре аренды лесного участка», для лесных участков из состава земель Министерства обороны – приказом министра обороны РФ от 16.07.2012 г. № 1882 [3, 4]. При этом в вышеуказанных нормативно-правовых документах устанавливаются сроки разработки и представления арендодателю проекта освоения лесов: для лесных участков из состава земель лесного фонда – 6 мес., для лесных участков из состава земель Министерства обороны – 3 мес. с момента заключения договора аренды [3, 4].

В то же время не существует каких-либо нормативно-правовых документов, устанавливающих требования к форме договора безвозмездного или постоянного (бессрочного) пользования лесным участком. Также в тексте ЛК РФ отсутствует упоминание о необходимости разрабатывать проект освоения лесов для лесных участков, переданных в безвозмездное пользование.

Исходя из трактовки положений ЛК РФ при использовании лесов, переданных по договору безвозмездного пользования, разработка проекта освоения лесов не требуется. Кроме того, в кодексе прямо не указано, что лесопользование без проекта освоения лесов и без лесной декларации, которая подается ежегодно на основании указанных в проекте освоения сведений, на лесных участках, переданных по договору безвозмездного пользования, запрещено [1].

Согласно гл. 2 ЛК РФ договор безвозмездного пользования заключается при использовании лесов для осуществления религиозной деятельности (ст. 47 ЛК РФ) и как вариант может быть заключен при использовании лесов для строительства, реконструкции, эксплуатации линейных объектов (ст. 45 ЛК РФ). Однако следует учитывать, что использование лесов для этих видов деятельности допускает возведение капитальных сооружений, но подобное использование лесов не имеет отношения к ведению лесного хозяйства.

Таким образом, в действующем лесном законодательстве фактически отсутствуют нормы, регулирующие использование лесов, переданных по договору безвозмездного пользования.

Состав *проекта освоения лесов* и порядок его разработки установлен приказом Рослесхоза № 69. Для заготовки древесины проект освоения лесов разрабатывается на 10 лет, для остальных видов использования лесов – до 10 лет в рамках срока действия соответствующего лесохозяйственного регламента лесничества (лесопарка) [6]. Исключения составляют виды пользования лесами, определенные ст. 43 и 45 ЛК РФ, но срок действия проекта освоения лесов не может быть больше срока действия договора аренды лесного участка.

В соответствии с п. 33 приказа Рослесхоза № 69 внесение изменений в проект освоения лесов допускается при изменении лесохозяйственного регламента лесничества (лесопарка) или условий договора аренды [6].

Кроме того, согласно ч. 5 ст. 89 ЛК РФ предусматривается возможность проведения государственной или муниципальной экспертизы изменений в проект освоения лесов, подготовленных на основании акта лесопатологического обследования.

Исходя из вышеизложенного, основаниями для внесения изменений в проект освоения лесов лесного участка, переданного по договору постоянного (бессрочного) пользования, являются изменения лесохозяйственного регламента лесничества (лесопарка) или наличие акта лесопатологического обследования. Получается, что в случае внесения изменений (в т. ч. существенных) в договор постоянного (бессрочного) пользования лесным участком, для которого уже имеется утвержденный в установленном порядке проект освоения лесов, юридически нет никаких оснований вносить изменения в такой проект. Основанием для внесения изменений в этом случае является изменение лесохозяйственного регламента лесничества (лесопарка), по закону происходящее раз в 10 лет.

Следовательно, в отношении договоров постоянного (бессрочного) пользования лесными участками существует правовой вакуум, который необходимо восполнить.

Также в ходе нашего исследования была выявлена следующая особенность разработки проектов освоения лесов для целей, не связанных с ведением лесного хозяйства.

Согласно действующему законодательству при разработке проектов освоения лесов для целей, не связанных с заготовкой древесины, должны быть указаны объекты лесной и нелесной инфраструктуры. Перечень объектов лесной инфраструктуры определяется распоряжением Правительства РФ от 17 июля 2012 г. № 1283-р, в то время как перечень объектов, не связанных с созданием лесной инфраструктуры, определяется распоряжением Правительства РФ от 27 мая 2013 г. № 849-р для различных видов использования лесов отдельно [9, 10].

Однако перечень от 27 мая 2013 г. № 849-р ограничен и не охватывает всех возможных объектов нелесной инфраструктуры. Например, объекты для осуществления религиозной деятельности, не связанные с созданием лесной инфраструктуры, могут включать некапитальные строения, сооружения религиозного и(или) благотворительного назначения, но не допускается устройство дорог или троп между указанными строениями.

Не ясно, как в случаях аренды, постоянного (бессрочного) пользования лесного участка в целях, не связанных с заготовкой древесины, указывать объекты, которых нет в выше указанных перечнях. В качестве примера можно привести решение министерства лесного хозяйства, охраны окружающей среды и природопользования Самарской области № 05-02-32-104 от 04.10.2013 г. «О предоставлении в постоянное (бессрочное) пользование лесного участка, находящегося в государственной собственности» [11]. На основании этого решения областное министерство заключило с государственным бюджетным учреждением Самарской области «Учебно-спортивный центр "Чайка"» договор постоянного (бессрочного) пользования № 26 от 04.10.2013 г. о предоставлении лесного участка для строительства, реконструкции и эксплуатации линейного объекта – лыжероллерной трассы. Однако в соответствии с действующими нормативно-правовыми актами лыжероллерная трасса не относится ни к объектам лесной инфраструктуры, ни к объектам нелесной инфраструктуры [9, 10].

Таким образом, в целях совершенствования лесного законодательства, предлагается внести следующие изменения в действующие нормативно-правовые акты.

1. Изложить ч. 1 ст. 88 ЛК РФ в следующей редакции: «1. Лица, которым лесные участки предоставлены в постоянное (бессрочное) пользование, безвозмездное пользование или в аренду, составляют проект освоения лесов в соответствии со ст. 12 настоящего Кодекса».

2. Изложить п. 33 Приказа Рослесхоза от 29.02.2012 г. № 69 «Об утверждении состава проекта освоения лесов и порядка его разработки» в следующей редакции: «Внесение изменений в проект освоения лесов допускается при изменении лесохозяйственного регламента лесничества, лесопарка или условий договора аренды или условий договора постоянного (бессрочного) пользования. Внесение изменений в проект освоения лесов осуществляется в порядке, предусмотренном для разработки проекта освоения лесов настоящим Приказом».

3. Дополнить подпункт б п. 3 Распоряжения Правительства РФ от 27.05.2013 г. № 849-р «О перечне объектов, не связанных с созданием лесной инфраструктуры, для защитных лесов, эксплуатационных лесов, резервных лесов» следующей фразой:

«трассы спортивного назначения».

4. Дополнить подпункт б п. 6 Распоряжения Правительства РФ от 27.05.2013 г. № 849-р «О перечне объектов, не связанных с созданием лесной инфраструктуры, для защитных лесов, эксплуатационных лесов, резервных лесов», следующей фразой:

«трассы спортивного назначения;

спортивные (игровые) площадки;

площадки разного назначения (сцена, киноконцертная площадка, танцевальная площадка, открытая эстрада)».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лесной кодекс Российской Федерации от 04.12.2006 г. № 200-ФЗ (ред. от 29.12.2017). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

2. Магдеев Н.Г., Мусин Х.Г., Павлов В.С., Добровольский А.А. Анализ арендных отношений в Республике Татарстан // Изв. СПбЛТА. 2012. Вып. 198. С. 261–271.

3. Постановление Правительства РФ от 21.09.2015 г. № 1003 «О типовом договоре аренды лесного участка». Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

4. Приказ Министра обороны РФ от 16.07.2012 г. № 1882 «Об утверждении Порядка взаимодействия центральных органов военного управления и организаций, подведомственных Министерству обороны Российской Федерации, по организации и проведению аукционов по продаже права на заключение договора аренды лесных участков либо права на заключение договора купли-продажи лесных насаждений». Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

5. Приказ Федерального агентства лесного хозяйства России от 05.10.2011 г. № 423 «Об утверждении типовой формы и состава лесного плана субъекта Российской Федерации, порядка его подготовки» (Зарегистр. в М-ве юстиции РФ 12.12.2011 г. № 22552). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

6. Приказ Федерального агентства лесного хозяйства России от 29.02.2012 г. № 69 «Об утверждении состава проекта освоения лесов и порядка его разработки» (Зарегистр. в М-ве юстиции РФ 05.05.2012 г. № 24075). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

7. Приказ Федерального агентства лесного хозяйства России от 04.04.2012 г. № 126 «Об утверждении состава лесохозяйственных регламентов, порядка их разработки, сроков их действия и порядка внесения в них изменений» (Зарегистр. в М-ве юстиции РФ 21.05.2012 г. № 24269). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

8. Проект приказа Министерства природных ресурсов РФ «Об утверждении типовой формы и состава лесного плана субъекта Российской Федерации, порядка его подготовки и внесения в него изменений» (по состоянию на 11.10.2017). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

9. Распоряжение Правительства РФ от 17.07.2012 г. № 1283-р «Об утверждении Перечня объектов лесной инфраструктуры для защитных лесов, эксплуатационных лесов и резервных лесов» (ред. от 12.09.2017). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

10. Распоряжение Правительства РФ от 27.05.2013 г. № 849-р «О перечне объектов, не связанных с созданием лесной инфраструктуры, для защитных лесов, эксплуатационных лесов, резервных лесов» (ред. от 07.10.2017). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

11. Решение министерства лесного хозяйства, охраны окружающей среды и природопользования Самарской области № 05-02-32-104 от 04.10.2013 г. «О предоставлении в постоянное (бессрочное) пользование лесного участка, находящегося в государственной собственности». Режим доступа: http://www.priroda.samregion.ru/laws_registers/samara_dist/ (дата обращения: 12.04.2018).

12. Karjalainen T., Jutila L., Leinonen T., Gerasimov Y. The Effect of Forest Policy on the Use of Forest Resources and Forest Industry Investments in Russia // Resources and Technology. 2013. No. 10(2). Pp. 90–101.

13. Karvinen S., Välkky E., Gerasimov Y., Dobrovolsky A. Northwest Russian Forest Sector in a Nutshell / Finnish Forest Research Institute. Joensuu Unit, 2011. 144 p.

Поступила 13.02.18

UDC 349.6:[630*23+630*64]

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.40

Some Features of Legal Design Documents for Forest Plots

A.A. Dobrovolskiy, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor
Saint Petersburg State Forest Technical University under name of S.M. Kirov, Institutskiy per., 5, Saint Petersburg, 194021, Russian Federation; e-mail: alexander-83@yandex.ru

The article considers the design questions of forest plots handed over for use. The legal design documents are analyzed; practical aspects of their application are presented. The current forestry legislation on the use of forest resources is constantly being transformed, but many issues remain unresolved for a long time. For this reason, bona fide forest users cannot exercise the right to use forests, and supervisory and control authorities are limited in the ability to carry out duties under the functions imposed on them. A number of features of development of forest management projects in forest plots handed over for use under lease agreements, for permanent perpetual use and for free use are revealed. The examples of the law enforcement practice are provided. The gaps in the legislation related to the regulation of the forest users' activity within the framework of concluded gratuitous use agreements are analyzed; recommendations for their elimination are given. The analysis of design features of objects not related to the creation of forest infrastructure on forest plots used not for logging is presented. Based on the results of the work, the author proposes to make a number of changes to the regulatory documents governing activities in the field of the forest use: to the Forest Code of the Russian Federation (with regard to the responsibility for develop-

For citation: Dobrovolskiy A.A. Some Features of Legal Design Documents for Forest Plots. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2018, no. 4, pp. 40–48. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.40

ing forest management plans); to the Order of the Federal Forestry Agency of Russia of 29 February 2012 no. 69 “On the approval of the forest management project and the procedure for its development” (in the section determining the conditions for making changes in the forest management plan); to the Government Resolution of the Russian Federation of May 27, 2013 no. 849-р “On the list of facilities not related to the creation of forest infrastructure for protective forests, commercial forests, reserved forests” (with respect to the expansion of the list of possible facilities not related to the creation of forest infrastructure).

Keywords: forest design documents, forest exploitation plan, forest plot.

REFERENCES

1. *Lesnoy kodeks Rossiyskoy Federatsii ot 04.12.2006 g. № 200-FZ (red. ot 29.12.2017)* [The Forest Code of the Russian Federation of 04 December 2006 No. 200-FZ (as Amended on December 29, 2017)]. Available at: www.consultant.ru.

2. Magdeev N.G., Musin Kh.G., Pavlov V.S., Dobrovolskiy A.A. Analiz arendnykh otnosheniy v Respublike Tatarstan [Analysis of Lease Relationship in Republic of Tatarstan]. *Izvestia Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii (Izvestia SPbLTA)* [News of the Saint Petersburg State Forest Technical Academy], 2012, no. 198, pp. 261–271.

3. *Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 21.09.2015 g. № 1003 «O tipovom dogovore arendy lesnogo uchastka»* [The Decree of the Government of the Russian Federation of 21 September 2015 No. 1003 “On the Model Agreement on the Lease of a Forest Plot”]. Available at: www.consultant.ru.

4. *Prikaz Ministra oborony RF ot 16.07.2012 g. № 1882 «Ob utverzhdenii Poryadka vzaimodeystviya tsentral'nykh organov voennogo upravleniya i organizatsiy, podvedomstvennykh Ministerstvu oborony Rossiyskoy Federatsii, po organizatsii i provedeniyu auktsionov po prodazhe prava na zaklyuchenie dogovora arendy lesnykh uchastkov libo prava na zaklyuchenie dogovora kupli-prodazhi lesnykh nasazhdeniy»* [The Order of the Minister of Defense of the Russian Federation of 16 July 2012 No. 1882 “On the Approval of the Procedure for Interaction Between the Military Departments and Organizations Subordinate to the Ministry of Defense of the Russian Federation for the Auctioning for the Sale of the Right to Conclude a Lease Agreement for Forest Plots or the Right to a Conclusion of a Contract of Sale and Purchase of Forest Plantations”]. Available at: www.consultant.ru.

5. *Prikaz Federal'nogo agentstva lesnogo khozyaystva Rossii ot 05.10.2011 g. № 423 «Ob utverzhdenii tipovoy formy i sostava lesnogo plana sub"ekta Rossiyskoy Federatsii, poryadka ego podgotovki»* (Zaregistr. v M-ve yustitsii RF 12.12.2011 g. № 22552) [The Order of the Federal Forestry Agency of Russia No. 423 of 5 October 2011 “On the Approval of the Standard Form and Composition of the Forest Plan of the Subject of the Russian Federation, the Procedure for Its Preparation” (Registered in the Ministry of Justice of the Russian Federation on December 12, 2011 No. 22552)]. Available at: www.consultant.ru.

6. *Prikaz Federal'nogo agentstva lesnogo khozyaystva Rossii ot 29.02.2012 g. № 69 «Ob utverzhdenii sostava proekta osvoeniya lesov i poryadka ego razrabotki»* (Zaregistr. v M-ve yustitsii RF 05.05.2012 g. № 24075) [The Order of the Federal Forestry Agency of Russia of 29 February 2012 No. 69 “On the Approval of the Forest Management Project and the Procedure for Its Development” (Registered in the Ministry of Justice of the Russian Federation on May 05, 2012 No. 24075)]. Available at: www.consultant.ru.

7. *Prikaz Federal'nogo agentstva lesnogo khozyaystva Rossii ot 04.04.2012 g. № 126 «Ob utverzhdenii sostava lesokhozyaystvennykh reglamentov, poryadka ikh razrabotki, srokov ikh deystviya i poryadka vneseniya v nikh izmeneniy»* (Zaregistr. v M-ve yustitsii RF 21.05.2012 g. № 24269) [The Order of the Federal Forestry Agency of Russia of 04 April 2012 No. 126 “On the Approval of the Composition of Forest Management Regulations, the Procedure for Their Development, Duration and Alteration” (Registered in the Ministry of Justice of the Russian Federation on May 21, 2012 No. 24269)]. Available at: www.consultant.ru.

8. *Proekt prikaza Ministerstva prirodnikh resursov RF «Ob utverzhdenii tipovoy formy i sostava lesnogo plana sub"ekta Rossiyskoy Federatsii, poryadka ego podgotovki i vnoseniya v nego izmeneniy» (po sostoyaniyu na 11.10.2017)* [The Draft Order of the Ministry of Natural Resources of Russia “On the Approval of the Standard Form and Composition of the Forest Plan of the Subject of the Russian Federation, the Procedure for Its Preparation and Alteration” (as of October 11, 2017)]. Available at: [www. http://www.consultant.ru](http://www.consultant.ru).

9. *Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 17.07.2012 g. № 1283-r «Ob utverzhdenii Perechnya ob"ektov lesnoy infrastruktury, dlya zashchitnykh lesov, ekspluatatsionnykh lesov, rezervnykh lesov» (red. ot 12.09.2017)* [The Government Resolution of the Russian Federation of 17 July 2012 No. 1283-r “On the Approval of the List of Forest Infrastructure Facilities for Protective Forests, Commercial Forests and Reserved Forests” (as Amended on September 12, 2017)]. Available at: www.consultant.ru.

10. *Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 27.05.2013 g. № 849-r «O Perechne ob"ektov, ne svyazannykh s sozdaniem lesnoy infrastruktury, dlya zashchitnykh lesov, ekspluatatsionnykh lesov, rezervnykh lesov» (red. ot 07.10.2017)* [The Government Resolution of the Russian Federation of May 27, 2013 No. 849-r “On the List of Facilities not Related to the Creation of Forest Infrastructure, for Protective Forests, Commercial Forests and Reserved Forests” (as Amended on October 07, 2017)]. Available at: www.consultant.ru.

11. *Reshenie ministerstva lesnogo khozyaystva, okhrany okruzhayushchey sredy i prirodopol'zovaniya Samarskoy oblasti № 05-02-32-104 ot 04.10.2013 g. «O predostavlenii v postoyannoe (bessrochnoe) pol'zovanie lesnogo uchastka, nakhodyashchegosya v gosudarstvennoy sobstvennosti»* [Resolution of the Ministry of Forestry, Environmental Protection and Nature Management of the Samara Region No. 05-02-32-104 of 04 October 2013 “On Making Available for Permanent Perpetual Use of Publicly Owned Forest Plots”]. Available at: http://www.priroda.samregion.ru/laws_registers/samara_dist (accessed 12.04.2018).

12. Karjalainen T., Jutila L., Leinonen T., Gerasimov Y. The Effect of Forest Policy on the Use of Forest Resources and Forest Industry Investments in Russia. *Resources and Technology*, 2013, no. 10(2), pp. 90–101.

13. Karvinen S., Väliky E., Gerasimov Y., Dobrovolsky A. *Northwest Russian Forest Sector in a Nutshell*. Finnish Forest Research Institute, Joensuu Unit, 2011. 144 p.

Received on February 13, 2018

УДК 630*232.411:633.877.3

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.49

БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ НАДЗЕМНОЙ ФИТОМАССЫ КУЛЬТУР СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ*Д.Н. Клевцов¹, канд. с.-х. наук, доц.**О.Н. Тюкавина¹, канд. с.-х. наук, доц.**Д.М. Адаи^{1,2}, асп.*¹Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002;

e-mail: d.klevtsov@narfu.ru, o.tukavina@narfu.ru

²Takoradi Technical University, P. O. BOX 256, Takoradi, Western Region, Ghana;

e-mail: georgeadayi@yahoo.com

Растительная биомасса – перспективный источник энергии. В качестве сырья для получения пеллетного топлива актуально использование низкосортной древесины. Развитие биоэнергетики является одним из путей снижения энергозависимости производств, удаленных от мест добычи газа, нефти, каменного угля. Для энергетического использования различных фракций фитомассы необходимо оценить их биоэнергетический потенциал. Цель исследования – проведение оценки биоэнергетической продуктивности культур сосны обыкновенной, произрастающих в различных условиях Балтийско-Белозерского таежного района. Объектами изучения служили чистые по составу и идентичные по способу создания участки культур сосны обыкновенной в лишайниковом, брусничном и черничном типах условий местопроизрастания. На временных пробных площадях отбирали по 10 модельных деревьев, которые разделяли на следующие фракции фитомассы: сухие сучья, живые ветви, древесная зелень (охвоенные побеги с диаметром у основания не более 0,8 см), кора ствола, древесина ствола. Установлено, что наибольшее количество энергии за год аккумулируется культурами сосны в сосняке черничном (73,88 ГДж/га). С ухудшением лесорастительных условий энергетическая продуктивность культур сосны снижается: в сосняке лишайниковом она в 4 раза ниже, чем в сосняке черничном, а в сосняке брусничном имеет промежуточное значение (48,89 ГДж/га). Больше количество энергии аккумулируется древесиной ствола (66 %). Значительно меньшие значения энергетической продуктивности отмечены у остальных фракций: сухие сучья – 4 %, ветви – 8 %, древесная зелень – 13 %, кора – 9 %. Это дает возможность оценивать биоэнергетический потенциал традиционно неиспользуемых фракций фитомассы и намечать пути их энергетического применения. Полученная информация может быть использована при разработке комплекса профилактических противопожарных мероприятий и теоретических основ тушения лесных верховых пожаров в сосновых молодняках, поскольку содержит необходимые сведения о запасах горючих материалов в пологе древостоя, а также при обосновании дозы огнегасящих химических средств и воды при тушении лесных верховых пожаров.

Ключевые слова: лесные культуры, сосна обыкновенная, надземная фитомасса, энергетическая продуктивность.

Введение

В последние годы большое внимание уделяется вопросам использования древесной биомассы для получения тепловой энергии. В ряде субъектов Российской Федерации наблюдается тенденция замены ввозимых энергоресурсов

Для цитирования: Клевцов Д.Н., Тюкавина О.Н., Адаи Д.М. Биоэнергетический потенциал надземной фитомассы культур сосны обыкновенной таежной зоны // Лесн. журн. 2018. № 4. С. 49–55. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.49

(в первую очередь нефтепродуктов) местными возобновляемыми видами топлива (в том числе древесной биомассой). Это обстоятельство способствует снижению затрат на получение тепловой энергии и улучшению экологической ситуации. Кроме того, производства по переработке древесной биомассы позволяют создавать новые рабочие места, снижают уровень безработицы и предотвращают миграцию трудоспособного населения, проживающего на удаленных территориях.

Однако следует помнить об ограничении изъятия из лесных насаждений с органическим сырьем необходимых в биогеоэкологической работе леса элементов питания. Поэтому между интенсивным вовлечением всех компонентов биомассы древостоев в энергетическое использование и поддержанием их экосистемной роли должен быть разработан разумный баланс на основе комплексных научных исследований.

Как отмечает А.А. Мартынюк [5], одним из наиболее важных факторов перевода теплоснабжения в субъектах Российской Федерации с нефтепродуктов на биотопливо из древесного сырья является наличие достаточного объема ресурсов последнего.

По современным оценкам, биомасса – самый мощный после солнца возобновляемый экологически чистый источник энергии. Ежегодный ее прирост на планете эквивалентен 20...30 млрд т условного топлива, т. е. превосходит годовую добычу нефти [1].

Весьма перспективной нишей рынка является использование низкосортной древесины в качестве энергетического сырья для получения пеллетного топлива. Этот энергоноситель уже завоевал обширный и ежегодно растущий сегмент рынка в Европе, Северной Америке, Китае. Производство пеллетного топлива может быть развернуто в любом населенном пункте, а переход на него не требует даже переоборудования традиционных угольных котельных. И по мере роста цен на природный газ (это неизбежное обстоятельство) сфера применения пеллет, прежде всего в коммунальном хозяйстве, будет неуклонно расти [11].

Развитие биоэнергетики в России снижает энергозависимость производств, особенно удаленных от мест добычи газа, нефти, каменного угля. Исходным сырьем для получения биотоплива в твердом, жидком и газообразном виде является биомасса, которая аккумулирует солнечную энергию в виде углеводов растительного происхождения [10, 16].

Углекислый газ, который образуется при производстве энергии из биотоплива, не относится к парниковым газам, так как биомасса и продукты ее сгорания рассматриваются как часть природного карбонового цикла. Растительные виды биомассы считаются наиболее «благородными» и во многих странах рассматриваются в качестве перспективного источника энергии [8, 13–15, 17, 18].

Цель исследования – определение биоэнергетической продуктивности культур сосны обыкновенной, произрастающих в различных условиях Балтийско-Белозерского таежного района.

Объекты и методы исследования

Исследования проведены на территории таежной лесорастительной зоны в Балтийско-Белозерском таежном районе (Вологодская область, Бабаевский муниципальный район). Объектами исследований являлись чистые по составу или с незначительной примесью березы, идентичные по способу

создания (посевы), участки культур сосны обыкновенной в лишайниковом, брусничном и черничном типах условий местопроизрастания, где древостои имеют существенные отличия в продуктивности.

Полевой экспериментальный материал получен методом однократных обмеров на временных пробных площадях, заложенных в культурах сосны обыкновенной. Обследование на них проводили с учетом методических рекомендаций В.В. Огиевского, А.А. Хирова [7], Н.Н. Соколова [12] и А.Р. Родина, М.Д. Мерзленко [9]. В непосредственной близости на каждой пробной площади тщательно отбирали по 10 модельных деревьев без признаков усыхания из разных ступеней толщины, избегая значительных отклонений в развитии крон, повреждений стволов и т. п. Модельные деревья разделявали на следующие фракции фитомассы: сухие сучья, живые ветви, древесная зелень (охвоенные побеги с диаметром у основания не более 0,8 см), кора ствола, древесина ствола. Массу фракций по каждой модели определяли с помощью электронного безмена (точность ± 50 г).

При выборе лесных участков для закладки пробных площадей и определения запасов энергии, заключенной в надземной фитомассе древостоев культур сосны обыкновенной, придерживались следующих принципов:

зональности (региональности), т. е. с учетом современного состояния лесокультурного производства региона естественный ряд развития подбирается в пределах лесорастительной зоны и лесного района;

однородности происхождения лесосеменного материала;

подбора участков культур с первоначальной густотой, близкой к рекомендациям официально действующих документов;

отнесения к одному естественному ряду развития участков культур, эколого-биологические свойства культивируемой породы которых в полной мере соответствуют условиям местопроизрастания.

При исследовании степени использования солнечной энергии культурами сосны обыкновенной основной задачей являлось определение количества тепловой энергии, заключенной в фитомассе наблюдаемых культурфитоценозов.

Потраченные запасы надземной фитомассы древесного яруса изучаемых культур получены в результате полевых исследований. Количество аккумулированной солнечной энергии в фитомассе культур сосны обыкновенной рассчитывали исходя из калорийности и количества органики, формируемой культурами за период их роста.

Результаты исследования и их обсуждение

Калорийность (теплотворную способность) фитомассы рассчитывали, используя экспериментальные данные ряда авторов, полученные с применением калориметрического метода (табл. 1).

Таблица 1

Теплотворная способность (ккал/кг) фракций фитомассы сосны обыкновенной по данным разных исследователей

Горючий материал	По Н.П. Курбатскому [4]	По А.А. Молчанову [6]	По В.П. Дадыкину и Н.В. Кононенко [2]	По Н.И. Казимирову и др. [3]	Среднее
Хвоя	5226	5210	–	5148	5195
Древесина	–	4921	4809...5024	4870	4903
Кора	4825	4815	–	4887	4842
Ветви	4927	–	–	4990	4959

Средние значения для хвои, древесины, коры и ветвей составили 5195, 4903, 4842 и 4959 ккал/кг соответственно.

Проведенные расчеты показали, что количество энергии, аккумулированной надземной фитомассой культур сосны обыкновенной в виде энергии химических связей органических соединений, по типам леса колеблется в значительных пределах и связано с их производительностью (табл. 2).

Таблица 2

**Годовая биоэнергетическая продуктивность (ГДж/га) / количество
аккумулированной энергии (%) для исследованных 40-летних культур
сосны обыкновенной по фракциям в разных лесорастительных условиях**

Сосняк	Фракция фитомассы					Всего
	Ствол		Крона		Сухие сучья	
	Древесина	Кора	Ветви	Древесная зелень		
Лишайниковый	<u>10,32</u>	<u>2,00</u>	<u>1,40</u>	<u>3,35</u>	<u>1,08</u>	<u>18,15</u>
	56,9	11,0	7,7	18,5	5,9	100
Брусничный	<u>33,48</u>	<u>4,07</u>	<u>3,47</u>	<u>5,37</u>	<u>2,50</u>	<u>48,89</u>
	68,5	8,3	7,1	11,0	5,1	100
Черничный	<u>55,18</u>	<u>4,91</u>	<u>5,69</u>	<u>6,42</u>	<u>1,68</u>	<u>73,88</u>
	74,7	6,6	7,7	8,7	2,3	100

Для установления влияния типа условий местопроизрастания на энергетическую продуктивность культур сосны обыкновенной проведено сравнение значений этого показателя у исследуемых объектов одного возраста (40 лет) в разных типах леса. Минимальное годовое количество энергии, аккумулированной древостоем, отмечается в сосняке лишайниковом (18,15 ГДж/га), максимальное – в сосняке черничном (73,88 ГДж/га). В культурах сосны брусничного типа условий местопроизрастания количество аккумулированной энергии составляет промежуточную величину (48,89 ГДж/га).

Из приведенных в табл. 2 данных видно, что относительное количество солнечной энергии, фиксируемой отдельными частями древесного яруса культур сосны обыкновенной, изменяется по типам леса в небольших пределах и может быть охарактеризовано средними цифрами для всех объектов. В частности, древесина ствола аккумулирует 66 % энергии, сухие сучья, ветви, древесная зелень и кора – 4, 8, 13 и 9 % соответственно.

Заключение

Установлено, что культуры сосны в год аккумулируют следующее количество энергии: в сосняке черничном – 73,88 ГДж/га; в сосняке брусничном – 48,89 ГДж/га; в сосняке лишайниковом – 18,15 ГДж/га. При этом древесина ствола накапливает 66 % солнечной энергии, сухие сучья – 4 %, ветви – 8 %, древесная зелень – 13 %, кора – 9 %.

Результаты, полученные в ходе проведенных исследований, представляют определенный интерес не только для теплоэнергетиков, но и для лесоводов. Они могут быть использованы при разработке теоретических основ тушения лесных верховых пожаров в сосновых молодняках, поскольку позволяют рассчитать запасы горючих материалов в пологе древостоя, при обосновании правильного выбора дозы огнегасящих химических средств и воды на тушение,

а также комплекса необходимых профилактических противопожарных мероприятий. Материалы исследования дают возможность оценивать биоэнергетический потенциал традиционно неиспользуемых фракций фитомассы и позволяют намечать пути их энергетического применения. Кроме того, они являются основой для составления энергетического баланса лесных сообществ и изучения потока энергии в лесных экосистемах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бабич Н.А., Любов В.К.* Энергетический потенциал среднетаежных сосняков-черничников искусственного происхождения // География Европейского Севера. Проблемы природопользования, социально-экономические, экологические: сб. науч. тр. Архангельск: ПГУ, 2002. С. 194–200.
2. *Дадыкин В.П., Кононенко Н.В.* О теплотворной способности органического материала древесных растений // Лесоведение. 1975. № 2. С. 30–37.
3. *Казимиров Н.И., Волков А.Д., Зябченко С.С., Иванчиков А.А., Морозова Р.М.* Обмен веществ и энергии в сосновых лесах Европейского Севера. Л.: Наука, 1977. 304 с.
4. *Курбатский Н.П.* Техника и тактика тушения лесных пожаров. М.: Гослесбумиздат, 1962. 154 с.
5. *Мартынюк А.А.* Оценка возможности использования древесной биомассы для теплоснабжения в целях перехода от нефтепродуктов на местные возобновляемые виды топлива // Лесн. вестн. 2016. № 5. С. 33–37.
6. *Молчанов А.А.* Продуктивность органической массы в лесах различных зон. М.: Наука, 1971. 276 с.
7. *Огиевский В.В., Хиров А.А.* Обследование и исследование лесных культур. Л.: ЛТА, 1967. 50 с.
8. *Писаренко А.И., Страхов В.В.* О некоторых современных задачах лесного сектора России // Лесн. хоз-во. 2006. № 4. С. 5–7.
9. *Родин А.Р., Мерзленко М.Д.* Методические рекомендации по изучению лесных культур старших возрастов. М.: ВАСХНИЛ, 1983. 36 с.
10. *Родин А.Р., Родин С.А.* Создание лесных энергетических плантаций // Лесн. вестн. 2008. № 1. С. 178–182.
11. *Рошупкин В.* Ресурсы лесного фонда – в энергетику // Биоэнергетика. 2005. № 1. С. 6–7.
12. *Соколов Н.Н.* Методические указания к дипломному проектированию по таксации пробных площадей. Архангельск: РИО АЛТИ, 1978. 44 с.
13. *Berndes G., Hansson J.* Bioenergy Expansion in the EU: Cost-Effective Climate Change Mitigation, Employment Creation and Reduced Dependency on Imported Fuels // Energy Policy. 2007. Vol. 35(12). Pp. 5965–5979.
14. *Björheden R.* Drivers Behind the Development of Forest Energy in Sweden // Biomass & Bioenergy. 2006. Vol. 30. Pp. 289–295.
15. IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation Intergovernmental Panel on Climate Change. 2011.
16. *Melin Y.* Impacts of Stumps and Roots on Carbon Storage and Bioenergy Use in a Climate Change Context // Agric. Sci. Umeå, Uppsala, 2014. 74 p.
17. *Sandström F., Petersson H., Krus N., Ståhl G.* Biomass Conversion Factors (Density and Carbon Concentration) by Decay Classes for Dead Wood of *Pinus sylvestris*, *Picea abies* and *Betula spp.* in Boreal Forests of Sweden // Forest Ecology and Management. 2007. Vol. 243(1). Pp. 19–27.
18. *Ximenes F.A., George B.H., Cowie A., Williams J., Kelly G.* Greenhouse Gas Balance of Native Forests in New South Wales, Australia // Forests. 2012. Vol. 3(3). Pp. 653–683.

UDC 630*232.411:633.877.3

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.49

Bioenergy Potential of Aerial Phytomass of Scots pine in the Middle Taiga Forest Region

D.N. Klevtsov¹, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

O.N. Tyukavina¹, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

D.M. Adai^{1,2}, Postgraduate Student

¹Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: d.klevtsov@narfu.ru, o.tukavina@narfu.ru

²Takoradi Technical University, P. O. BOX 256, Takoradi, Western Region, Ghana; e-mail: georgeadai@yahoo.com

Plant biomass is a promising source of energy. The use of low-grade wood as a raw material for pellet fuel production is important. The development of bioenergy is one of the ways to reduce the energy dependence for industries, remote from places of gas, oil and coal extraction. The bioenergy potential of different phytomass fractions should be evaluated for their energy use. The goal of research is to assess the bioenergy productivity of Scots pine growing in different conditions of the middle taiga forest region. The areas of Scots pine cultures pure in composition and identical in the way of creation are the objects of research. The forests of cladina, vaccinium and myrtillus types of sites are considered. On the temporary sample plots, 10 model trees are selected. They are divided into the following phytomass fractions: dry branches, living branches, tree foliage (needle packing shoots with a diameter at the base not more than 0.8 cm), trunk bark, trunk wood. The greatest amount of energy is accumulated by pine cultures in the myrtillus pine forest (73.88 GJ/ha per year). The energy productivity of pine crops decreases when site deterioration. In pine forests of cladina type, the energy productivity is 4 times lower than in the myrtillus pine forest. In the pine forests of vaccinium type, the accumulated energy has an intermediate value (48.89 GJ/ha). More energy is accumulated by stem wood (66 %). Significantly lower values of energy productivity are recorded in the other fractions: dry branches – 4 %, branches – 8 %, woody greens – 13 % and bark – 9 %. These indices help to evaluate the bioenergy potential of traditionally unused phytomass fractions and to outline the ways of their energy use. The obtained information can be used in the development of a set of necessary preventive firefighting measures and theoretical bases for forest crown fires extinguishing in young pine forests. The research results present the necessary information on the stocks of combustible materials in the canopy of the stand, as well as justifying the dose of fire extinguishing chemicals and water in forest fire extinguishing.

Keywords: forest culture, scots pine, aerial phytomass, energy production.

REFERENCES

1. Babich N.A., Lyubov V.K. Energeticheskiy potentsial srednetaezhnykh sosnyakov-chernichnikov iskusstvennogo proiskhozhdeniya [Energy Potential of Homogeneous Middle-Taiga Bilberry Pine Forests]. *Geografiya Evropeyskogo Severa. Problemy prirodopol'zovaniya, sotsial'no-ekonomicheskie, ekologicheskie: sb. nauch. tr.* [Geography of the European North. Nature Management, Socio-Economic, Environmental Problems]. Arkhangelsk, PSU Publ., 2002, pp. 194–200. (In Russ.)

2. Dadykin V.P., Kononenko N.V. O teplotvornoy sposobnosti organicheskogo materiala drevesnykh rasteniy [On the Calorific Value of the Organic Material of Woody Plants]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1975, no. 2, pp. 30–37.

For citation: Klevtsov D.N., Tyukavina O.N., Adai D.M. Bioenergy Potential of Aerial Phytomass of Scots pine in the Middle Taiga Forest Region. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2018, no. 4, pp. 49–55. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.49

3. Kazimirov N.I., Volkov A.D., Zybchenko S.S., Ivanchikov A.A., Morozova R.M. *Obmen veshchestv i energii v sosnovykh lesakh Evropeyskogo Severa* [Metabolism in Pine Forests of the European North]. Leningrad, Nauka Publ., 1977. 304 p. (In Russ.)
4. Kurbatskiy N.P. *Tekhnika i taktika tusheniya lesnykh pozharov* [Technique and Tactics of Forest Fires Extinguishing]. Moscow, Goslesbumizdat Publ., 1962. 154 p. (In Russ.)
5. Martynyuk A.A. Otsenka vozmozhnosti ispol'zovaniya drevesnoy biomassy dlya teplosnabzheniya v tselyakh perekhoda ot nefteproduktov na mestnye vozobnovlyayemye vidy topliva [Assessment of Wood Biomass Utilization Opportunity for Heat Supply due to Shift from Oil Products to Local Renewable Fuels]. *Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2016, no. 5, pp. 33–37.
6. Molchanov A.A. *Produktivnost' organicheskoy massy v lesakh razlichnykh zon* [Organic Matter Productivity in Forests of Different Zones]. Moscow, Nauka Publ., 1971. 276 p. (In Russ.)
7. Ogievskiy V.V., Khirov A.A. *Obsledovanie i issledovanie lesnykh kul'tur* [Inspection and Study of Forest Cultures]. Leningrad, LTA Publ., 1967. 50 p. (In Russ.)
8. Pisarenko A.I., Strakhov V.V. O nekotorykh sovremennykh zadachakh lesnogo sektora Rossii [On Some Modern Problems of the Russian Forest Sector]. *Lesnoe khozyaystvo*, 2006, no. 4, pp. 5–7.
9. Rodin A.R., Merzlenko M.D. *Metodicheskie rekomendatsii po izucheniyu lesnykh kul'tur starshikh vozrastov* [Methodological Recommendations on the Study of Forest Cultures of Older Ages]. Moscow, All-Union Academy of Agricultural Sciences Publ., 1983. 36 p. (In Russ.)
10. Rodin A.R., Rodin S.A. Sozdanie lesnykh energeticheskikh plantatsiy [Establishment of Forest Energy Plantations]. *Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2008, no. 1, pp. 178–182.
11. Roshchupkin V. Resursy lesnogo fonda – v energetiku [Resources of the Forest Fund – to the Energy Sector]. *Bioenergetika*, 2005, no. 1, pp. 6–7.
12. Sokolov N.N. *Metodicheskie ukazaniya k diplomnomu proektirovaniyu po taksatsii probnykh ploshchadey* [Methodological Instructive Regulations for the Graduate Thesis on the Estimation by Circular Sample Plots]. Arkhangelsk, AFTI Publ., 1978. 44 p. (In Russ.)
13. Berndes G., Hansson J. Bioenergy expansion in the EU: Cost-Effective Climate Change Mitigation, Employment Creation and Reduced Dependency on Imported Fuels. *Energy Policy*, 2007, no. 35(12), pp. 5965–5979.
14. Björheden R. Drivers Behind the Development of Forest Energy in Sweden. *Biomass & Bioenergy*, 2006, no. 30, pp. 289–295.
15. IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation Intergovernmental Panel on Climate Change. 2011.
16. Melin Y. Impacts of Stumps and Roots on Carbon Storage and Bioenergy Use in a Climate Change Context. *Agric. Sci. Umeå, Uppsala*, 2014. 74 p.
17. Sandström F., Petersson H., Kruys N., Ståhl G. Biomass Conversion Factors (Density and Carbon Concentration) by Decay Classes for Dead Wood of *Pinus sylvestris*, *Picea abies* and *Betula spp.* in Boreal Forests of Sweden. *Forest Ecology and Management*, 2007, no. 243(1), pp. 19–27.
18. Ximenes F.A., George B.H., Cowie A., Williams J., Kelly G. Greenhouse Gas Balance of Native Forests in New South Wales, Australia. *Forests*, 2012, no. 3(3), pp. 653–683.

Received on February 21, 2018

УДК 631.535

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.56

ОПЫТ ЗЕЛЕНОГО ЧЕРЕНКОВАНИЯ ОБЛЕПИХИ КРУШИНОВИДНОЙ В УСЛОВИЯХ ЮГО-ВОСТОКА КАЗАХСТАНА*

В.П. Бессчетнов¹, д-р биол. наук, проф.

Е.Ж. Кентбаев², д-р с.-х. наук, проф.

¹Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, просп. Гагарина, д. 97, г. Нижний Новгород, Россия, 603107; e-mail: lesfak@bk.ru

²Казахский национальный аграрный университет, просп. Абая, д. 8, г. Алматы, Республика Казахстан, 050010; e-mail: kentbayev@mail.ru

Специфика размножения древесных растений, в том числе и облепихи крушиновидной, предоставляет характерные возможности. Довольно сложно найти два вида с одинаковой синхронностью в отношении семенного и вегетативного размножения. Последнее состоит из нескольких направлений, которые практически все встречаются в природе (без вмешательства человека). Среди них и метод укоренения побегов за счет соприкосновения нижних веток с почвой. В производственных условиях облепиху размножают вегетативным и семенным способами. Однако при семенном размножении из-за высокой гетерозиготности семян особо ценные признаки не передаются потомству. В связи с этим при разведении облепихи необходимо использовать такие методы размножения, которые позволяли бы получать генетически однородное потомство, сохраняющее хозяйственно-ценные материнские признаки. Одним из распространенных методов вегетативного размножения облепихи является черенкование. Цель исследования – определение регенерационной способности различных сортов и форм облепихи крушиновидной. Эксперименты проводились в горных условиях юго-востока Казахстана на высоте 1450 м над уровнем моря. Использовались общепринятые методические разработки в области тиражирования лесного посадочного материала. Установлены наилучшие сроки зеленого черенкования облепихи: с 3-й декады июня по 1-ю декаду июля. Показано, что зеленое черенкование можно проводить не только в теплицах, но и в условиях открытого грунта. Полученные результаты могут быть применены в лесопитомническом хозяйстве.

Ключевые слова: облепиха, сорт, форма, зеленые черенки, срок черенкования, укореняемость, регенерационная способность.

Введение

Облепиха крушиновидная (*Hippophae rhamnoides* L.) в экологическом отношении очень пластичный вид, выдерживающий как высокие, так и низкие температуры (амплитуда колебаний – 90...95 °С). Она произрастает на различных типах почв, засухоустойчива и солеустойчива. Учитывая эти особенности облепихи, исследователи указывают на перспективность ее выращивания в непригодных для другой растительности условиях [1, 7–10].

*Статья подготовлена по материалам международного симпозиума «Лесное хозяйство: интеграция и вклад в развитие сельских территорий» (15–16 мая 2018 г., г. Нижний Новгород).

Для цитирования: Бессчетнов В.П., Кентбаев Е.Ж. Опыт зеленого черенкования облепихи крушиновидной в условиях юго-востока Казахстана // Лесн. журн. 2018. № 4. С. 56–62. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.56

В производственно-биологическом отношении наиболее перспективным способом вегетативного размножения облепихи является укоренение стеблевыми черенками, которые в зависимости от их состояния делятся на одревесневшие (зимние) и зеленые (летние) [2–5, 9].

Размножение облепихи одревесневшими черенками получило широкое распространение, так как при сравнительно невысоких затратах труда и средств дает возможность в относительно короткий промежуток времени получать однородный в генетическом плане корнесобственный посадочный материал [3, 6].

Одно из перспективных направлений зеленого черенкования облепихи – укоренение в открытом грунте. На основе положительных результатов по укоренению одревесневших черенков в открытом грунте продолжены эксперименты с зелеными черенками. Зеленое черенкование в открытом грунте позволяет отказаться от вегетационных сооружений, что снизит себестоимость конечной продукции, а также увеличит объем выпуска черенков за счет снятия ограничения продуцирующей площади вегетационного сооружения.

В течение последних 30 лет в условиях Алматинской области нами проводились работы по тиражированию облепихи одревесневшими и зелеными черенками [5].

Объекты и методы исследования

Объектами исследований являлись 12 сортов и форм облепихи различного географического происхождения: 6 сортов селекции Научно-исследовательской семенной станции (г. Барнаул) – Обильная, Новость Алтая, Золотой початок, Великан, Превосходная, Дар Катуня; гибрид Щ-2хДМС-5 селекции Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии (г. Нижний Новгород); форма 102-Л, отобранная в естественных насаждениях Восточного Казахстана (г. Зайсан); формы 2-Н, 101-Н и 10-МН, отобранные из семян восточно-казахстанского происхождения; форма 5-С, отобранная в естественных насаждениях Алматинской области (г. Сарканд).

Для выявления оптимального срока зеленого черенкования облепихи заготовку и укоренение черенков осуществляли с 20 мая (возможность начала заготовки зеленых черенков) и до 10 августа (полное одревеснение годичных побегов и окончание формирования генеративных почек). Интервал между заготовкой черенков составлял 10...15 дн. Укоренение черенков проводили в теплице при одинаковом выровненном агрофоне, различия заключались только в сорто-формовом происхождении черенков и сроке их посадки.

В более ранних работах [5] указывалось на возможность укоренения одревесневших черенков в открытом грунте. В данном исследовании это использовано для зеленого черенкования.

Посадочное место – участок шириной до 1 м и длиной 10 м. На выровненную площадь насыпали крупнозернистый песок слоем до 5 см. По периметру отделения укоренения устраивали небольшие земляные насыпи (брустверы) для предохранения черенков от последствий ливневых дождей. По центру гряд прокладывали оросительные трубы с выходом для распылителей воды. Орошение черенков осуществляли посредством туманообразующих распылителей с использованием системы «электронный лист» или регулировали автоматически через реле времени. Черенки высаживали по схеме 7×3 см. Посадки отеняли драночными щитами в виде двускатной крыши.

Таблица 1

Влияние сроков заготовки и посадки на укореняемость зеленых черенков облепихи

Сорт, форма	Укореняемость, %										Среднее по сорту, форма, %
	20/V	25/V	5/VI	15/VI	25/VI	5/VII	15/VII	25/VII	5/VIII	10/VIII	
Обильная	76,1	78,3	83,8	86,3	90,7	90,2	85,7	78,4	61,4	61,6	79,25
Новость Алтая	72,4	77,7	82,1	87,0	92,1	91,3	84,5	77,8	68,1	63,7	79,67
Золотой початок	74,6	76,1	79,7	80,4	87,6	93,5	86,4	80,7	74,3	65,6	79,89
Великан	70,2	75,6	78,7	84,3	90,5	88,3	82,6	77,0	67,4	60,3	77,49
Щ-2хДМС-5	68,4	77,5	83,4	87,3	93,7	90,0	84,2	73,8	67,3	61,4	78,50
Превосходная	73,7	79,6	84,3	88,4	92,3	96,6	85,4	75,7	66,9	59,4	80,23
Дар Катуня	67,6	72,4	77,8	83,7	91,8	90,2	83,5	72,1	63,3	57,6	76,03
102-Л	55,1	67,8	72,1	77,1	80,4	83,3	74,6	66,4	58,7	51,3	68,68
2-Н	62,4	68,5	73,2	79,3	88,8	85,3	80,1	73,5	67,8	63,9	74,28
101-Н	60,7	67,2	74,6	80,4	87,0	82,5	76,2	70,1	67,5	62,3	72,85
10-МН	64,3	66,7	70,1	75,0	81,4	78,6	72,1	65,4	62,7	59,0	69,53
5-С	58,6	65,1	73,4	77,8	83,9	77,4	70,7	64,3	62,1	58,4	69,17
Среднее по сроку заготовки и посадки, %	67,01	72,74	77,77	82,89	88,35	87,27	80,50	72,94	65,63	60,38	75,49

Эксперименты с укороченными зелеными черенками в открытом грунте были многоплановыми. Параллельно испытывали влияние мульчирующего материала и размеров зеленых черенков на их укореняемость. В качестве мульчирующего материала использовали светлую и темную полиэтиленовую пленку, древесные опилки. Размеры зеленых черенков: 5, 7, 10, 15 см. Контролем служили посадки без мульчирования.

В экспериментах участвовало по 50 черенков каждого сорта (Новость Алтая и Обильная) и формы (2-Н). Повторность опыта 3-кратная. Черенки заготавливали и сажали в начале июля, учет их укореняемости проводили осенью.

Результаты исследования и их обсуждение

Зеленое черенкование – одно из самых перспективных направлений при размножении облепихи. Главный недостаток этого метода заключается в том, что в первый вегетационный период (год укоренения) у черенков надземная часть не формируется и, следовательно, доращивание является непременным условием. Тогда как при подборе высокой агротехники одревесневшие черенки уже осенью можно использовать в качестве посадочного материала.

Срок черенкования имеет очень большое значение, так как это отражается на основных моментах развития посадочного материала – укореняемости и вызревании укорененных черенков.

Данные табл. 1 указывают на существенное влияние сроков заготовки и посадки на укореняемость зеленых черенков стандартных размеров (15 см). Посадки, проведенные в ранние сроки (20 и 25 мая), отличаются невысокой укореняемостью.

Усредненные по 12 сортам и формам значения укореняемости составляют соответственно 67,01 и 72,74 %. На раннее черенкование (20 мая) лучше всего отреагировали сорта: Обильная (76,1 %), Золотой початок (74,6 %), Превосходная (73,7 %), среди казахстанских форм – 10-МН (64,3 %).

Разница посадок в 5 дн. существенно увеличивает укореняемость черенков. Оптимальным для черенкования следует признать срок с 25 июня по 5 июля, в этот период отмечается максимум укоренения. Более поздние сроки черенкования (25 июля, 5 и 10 августа) имеют низкую результативность и не приемлемы для производственных условий, так как наряду с низкой укореняемостью черенки формируют слабую корневую систему.

Относительно низкая укореняемость зеленых черенков при ранних сроках черенкования объясняется тем, что вновь образующиеся годичные побеги находятся в стадии формирования, а физиологические процессы по накоплению питательных и других веществ не завершены.

Наилучшие сроки зеленого черенкования облепихи приходятся на конец июня и начало июля. Годичные побеги облепихи к этому моменту уже находятся в полуодревесневшем состоянии и имеют в запасе значительное количество питательных веществ. В этот же период отмечены образование воздушных корней на верхних частях черенков и направление кончиков придаточных корней вниз к субстрату. Воздушные корни образовались вследствие высокой относительной влажности воздуха, автоматически поддерживаемой туманообразующими установками. Этот факт свидетельствует о возможности укоренения зеленых черенков облепихи в воде (гидропоника) и воздухе (аэропоника).

Низкие результаты при поздних сроках черенкования (август) связаны, скорее всего, с полным вызреванием побегов, которые по физиологическому состоянию приближаются к одревесневшим черенкам. Еще одной причиной является недостаточное количество положительных температур, о чем свидетельствует характер корнеобразовательного процесса. Как показали наши наблюдения, эти черенки оказались наиболее уязвимыми, больше всего страдали в зимний период, среди них имелось значительное количество выпавших экземпляров.

Наилучшую укореняемость имели: гибрид Щ-2хДМС-5 (93,7 % – 25 июня), сорт Золотой початок (93,5 % – 15 июля), форма 2-Н (88,8 % – 25 июня). Низкие результаты в эти же сроки отмечены у формы 5-С – 77,4 %.

Материалы, приведенные в табл. 2, указывают на разный уровень укореняемости зеленых черенков облепихи в открытом грунте в зависимости от типа мульчирующего материала. Среди испытываемых мульчирующих покрытий лучшие показатели были достигнуты при укрытии субстрата древесными опилками.

Так, черенки сорта Новость Алтая укоренились на 78,00 %, Обильная – на 78,25 %, формы 2-Н – на 75,25 %. В целом мульчпокрытие субстрата повышает уровень укореняемости зеленых черенков. Применение темной полиэтиленовой пленки увеличивает укореняемость по сравнению со светлой (прозрачной) пленкой. Из-за проникновения солнечных лучей под прозрачной пленкой формируется сорная растительность, которая находит выход в местах посадки черенков. Под черной пленкой сорной травы значительно меньше. Снижение укореняемости под пленкой, скорее всего, связано с уменьшением степени аэрации субстрата. Она способствует лучшему прогреву почвы, отсюда и увеличение укореняемости по сравнению с контрольным вариантом. Древесные опилки хорошо пропускают воздух, снижают испарение влаги с поверхности субстрата и создают оптимальный температурный режим.

Таблица 2

**Влияние мульчирующего покрытия
на укореняемость зеленых черенков облепихи в открытом грунте**

Длина черенка, см	С мульчпокрытием			Без мульчпокрытия (контроль)
	полиэтиленовая темная	пленка светлая	древесные опилки	
<i>Сорт Новость Алтая</i>				
5	68,0	66,0	74,0	63,0
7	70,0	67,0	76,0	63,0
10	73,0	69,0	79,0	66,0
15	79,0	75,0	83,0	68,0
Среднее	72,50	69,25	78,00	65,00
<i>Сорт Обильная</i>				
5	68,0	65,0	72,0	61,0
7	71,0	67,0	78,0	64,0
10	76,0	70,0	84,0	67,0
15	81,0	76,0	86,0	70,0
Среднее	74,00	69,50	80,00	65,50
<i>Форма 2-Н</i>				
5	63,0	60,0	66,0	60,0
7	66,0	64,0	69,0	62,0
10	72,0	68,0	73,0	66,0
15	73,0	71,0	75,0	69,0
Среднее	68,50	65,75	70,75	64,25
<i>Итого</i>	71,67	68,17	76,25	64,92

Параллельно проводились эксперименты по выявлению лучших показателей укореняемости черенков в зависимости от их длины. Так, для условий открытого грунта наиболее приемлемы черенки длиной 10 см, которые по уровню укореняемости незначительно уступают черенкам длиной 15 см, но с учетом коэффициента размножения они наиболее производительны. Черенки длиной 5...7 см можно рассматривать как перспективные, так как их использование позволяет увеличить выход посадочного материала с маточных растений в 2–3 раза.

Выводы

1. Установлено, что регенерационная способность зеленых черенков облепихи находится в зависимости от срока их заготовки и посадки. Оптимальным для зеленого черенкования облепихи в условиях юго-востока Казахстана является период с 25 июня по 5 июля.

2. Доказана возможность укоренения зеленых черенков облепихи в открытом грунте. При этом укореняемые черенки хорошо реагируют на тип мульчирующего покрытия (в наших экспериментах лучшими оказались древесные опилки).

3. Показана целесообразность использования нестандартных зеленых черенков длиной 5...10 см, что позволит увеличить эффективность размножения в 2,5 раза. Так, если со 100 стандартных черенков длиной 15 см при 75 %-й укореняемости получается 75 черенковых саженцев, то при нарезке этих же 100 черенков длиной 5 см получается 300 черенков, а с учетом их 66 %-й укореняемости – 198 черенковых саженцев. Снижение объема маточных площадей значительно повышает экономическую эффективность производственных мероприятий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Букитынов А.Д., Трофимов Т.Т., Ермаков Б.С., Фаустов В.В., Хабарова З.И. и др. Облепиха. М.: Лесн. пром-сть, 1978. 192 с.
2. Ермаков Б.С. Зеленое черенкование облепихи // Садоводство. 1978. № 12. С. 31–32.
3. Ермаков Б.С. Размножение древесных и кустарниковых растений зеленым черенкованием. Кишинев: Штиинца, 1981. 224 с.
4. Звягина Л.Е. Размножение облепихи зелеными черенками // Земля сибирская, дальневосточная. 1971. № 8. С. 51–53.
5. Кулиев А.С., Кентбаев Е.Ж., Бессчетнов В.П. Регенерационная способность облепихи различного географического происхождения при размножении черенками // Материалы междунар. науч.-практич. конф. молодых ученых и аспирантов Казахст. гос. аграр. ун-та. Алматы, 1997. С. 40–43.
6. Тарасенко, М.Т., Фаустов В.В., Авдеев В.И. Выращивание саженцев облепихи крушиновидной методом зеленого черенкования в Нечерноземной зоне // Изв. Тимиряз. с.-х. акад. 1979. Вып. 3. С. 104–116.
7. Трофимов Т.Т. Облепиха. М.: Изд-во МГУ, 1988. 224 с.
8. Balint K., Terpo A., Zsoldos L. Sea Buckthorn as Suitable Plant for Reclamation of Red Mud Impoundments in Hungary // Proc. 1st Intern. Symp. Sea Buckthorn. October 19–23, 1989. China, Xi'an, 1989. Pp. 268–274.
9. Cao K. A Brief Outline of Research on *Hippophae* Polyploid Breeding in the USSR // Hippophae. 1989. No. 3. Pp. 43–44.
10. Kluczynski B. Effects of Sea Buckthorn (*Hippophae Rhamnoides* L.) Cultivation on Post-Industrial Wastelands in Poland // Proc. 1st Intern. Symp. Sea Buckthorn. October 19–23, 1989. China, Xi'an, 1989. Pp. 275–287.

Поступила 06.03.18

UDC 631.535

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.56

Propagation of Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) by Herbaceous Cuttings in a Climate of South-East Kazakhstan*V.P. Besschetnov*¹, *Doctor of Biological Sciences, Professor**E.Zh. Kentbaev*², *Doctor of Agricultural Sciences, Professor*¹Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, pr. Gagarina, 97, Nizhny Novgorod, 603107, Russian Federation; e-mail: lesfak@bk.ru²Kazakh National Agrarian University, pr. Abaya, 8, Almaty, 050010, Republic of Kazakhstan; e-mail: kentbaev@mail.ru

Specificity of woody plants reproduction, including sea buckthorn, has characteristic features. It is rather difficult to find two species with the same synchronism of the seed and vegetative reproduction. The vegetative reproduction consists of several directions. Almost all of them are observed in nature (without human intervention), including the method of shoot rooting, which occurs due to the contact of the lower branches with the soil. Sea buckthorn is propagated by vegetative and seed methods under production conditions. However, in case of seed propagation, due to the high heterozygosity of seeds, especially valuable characters are not transmitted to the offspring. Therefore, when the cultivation of sea buckthorn, it is necessary to use the methods of reproduction that would allow obtaining genetically homoge-

For citation: Besschetnov V.P., Kentbaev E.Zh. Propagation of Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) by Herbaceous Cuttings in a Climate of South-East Kazakhstan. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2018, no. 4, pp. 56–62. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.56

nous offspring with economically valuable maternal characteristics. Grafting is one of the most common methods of the sea buckthorn vegetative reproduction. The goal of research is to determine the regenerative capacity of varieties and forms of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.). We have carried out the field experimental work in high mountain conditions in the southeast of Kazakhstan at an altitude of 1450 m A.S.L. We used the standard methodological developments of the forest planting material replication. The best terms for propagation by herbaceous cuttings are from the 3rd decade of June to the 1st decade of July. Propagation by herbaceous cuttings can be carried out not only in greenhouses, but also in open ground conditions. The results obtained can be applied in the forest nursery.

Keywords: sea buckthorn, variety, form, softwood cutting, date of grafting, rooting ability, regenerative ability.

REFERENCES

1. Bukshtynov A.D., Trofimov T.T., Ermakov B.S., Faustov V.V., Khabarova Z.I. et. al. *Oblepikha* [Sea Buckthorn]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1978. 192 p. (In Russ.)
2. Ermakov B.S. Zelenoe cherenkovanie oblepikhi [Propagation of Sea Buckthorn by Herbaceous Cuttings]. *Sadovodstvo*, 1978, no. 12, pp. 31–32.
3. Ermakov B.S. *Razmnozhenie drevesnykh i kustarnikovykh rasteniy zelenym cherenkovaniem* [Propagation of Woody and Shrubby Plants by Herbaceous Cuttings]. Chisinau, Shtiintsa Publ., 1981. 224 p. (In Russ.)
4. Zvyagina L.E. Razmnozhenie oblepikhi zelenymi cherenkami [Propagation of Sea Buckthorn by Herbaceous Cuttings]. *Zemlya sibirskaya, dal'nevostochnaya*, 1971, no. 8, pp. 51–53.
5. Kuliev A.S., Kentbaev E.Zh., Besschetnov V.P. Regeneratsionnaya sposobnost' oblepikhi razlichnogo geograficheskogo proiskhozhdeniya pri razmnozhении cherenkami [Regenerative Ability of Sea-Buckthorn of Different Geographical Origin during Propagation by Cuttings]. *Materialy mezhdunar. nauch-praktich. konf. molodykh uchenykh i aspirantov Kazakhst. gos. agrar. un-ta* [Proc. Intern. Sci. Practical Conf. Young Scientists and Postgraduate Students of Kazakh National Agrarian Univ.]. Almaty, 1997, pp. 40–43. (In Russ.)
6. Tarasenko M.T., Faustov V.V., Avdeev V.I. Vyrashchivanie sazhentsev oblepikhi krushinovidnoy metodom zelenogo cherenkovaniya v Nechernozemnoy zone [Seedling Production of Sea Buckthorn by Propagation by Herbaceous Cuttings in the Nonchernozem Belt]. *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy], 1979, no. 3, pp. 104–116.
7. Trofimov T.T. *Oblepikha* [Sea Buckthorn]. Moscow, MSU Publ., 1988. 224 p. (In Russ.)
8. Balint K., Terpo A., Zsoldos L. Sea Buckthorn as Suitable Plant for Reclamation of Red Mud Impoundments in Hungary. *Proc. 1st Intern. Symp. Sea Buckthorn. October 19–23, 1989*. Xi'an, China, 1989, pp. 268–274.
9. Cao K. A Brief Outline of Research on *Hippophae* Polyploid Breeding in the USSR. *Hippophae*, 1989, no. 3, pp. 43–44.
10. Kluczynski B. Effects of Sea Buckthorn (*Hippophae Rhamnoides* L.) Cultivation on Post-Industrial Wastelands in Poland. *Proc. 1st Intern. Symp. Sea Buckthorn. October 19–23, 1989*. Xi'an, China, 1989, pp. 275–287.

Received on March 06, 2018

УДК 630*230.2

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.63

К МЕТОДИКЕ ОЦЕНКИ ЕСТЕСТВЕННОГО ВОЗОБНОВЛЕНИЯ ЕЛИ ШРЕНКА В УСЛОВИЯХ ГОРНЫХ ЛЕСОВ СЕВЕРНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ**Б.Т. Мамбетов, д-р с.-х. наук, проф.**Н.С. Келгенбаев, асп., науч. сотр.**Б.Д. Майсупова, канд. с.-х. наук, вед. науч. сотр.**Д.А. Досманбетов, магистр, науч. сотр.**Ж.С. Дукунов, мл. науч. сотр.*

Алматинский филиал Казахского научно-исследовательского института лесного хозяйства и агролесомелиорации, ул. Озерная, д. 17а, г. Алматы, Республика Казахстан, 050050; e-mail: los-almaty@mail.ru, nurzhan_n_n@mail.ru, bagila.maisupova@mail.ru, daniyar_d.a.a@mail.ru, 7078786694@mail.ru

Горные леса – леса, расположенные в пределах горных систем и отдельных горных массивов с колебаниями относительных высот местности более 100 м и средним уклоном поверхности от подножия до вершины горных хребтов или до границы безлесных пространств более 5° (отдельные участки склона могут иметь крутизну менее 5°), а также леса на горных плато и плоскогорьях независимо от уклона местности. К ним не относятся леса на холмистых возвышениях, не входящих в горные системы. Горные леса занимают около 40 % общей площади лесов Казахстана. В горных лесах Северного Тянь-Шаня основной лесообразующей породой является ель Шренка, которая естественно произрастает на высоте 1500...2900 м над уровнем моря. На северных, северо-западных и северо-восточных склонах Северного Тянь-Шаня в еловых насаждениях на абсолютной высоте более 2200 м вопрос выбора состава древесных пород не актуален, так как из-за жестких климатических условий произрастание других видов затруднено. Цель исследования – на основе литературных источников и собственных исследований подобрать и обосновать методику оценки естественного возобновления ели Шренка в горных лесах Северного Тянь-Шаня. Весь самосев и подрост ели делится на три высотные группы. Изучение успешности естественного возобновления ели, учет самосева и подростка следует проводить по высотным группам, окончательную оценку давать по численности благонадежного подростка выше 50 см. Учет возобновления под пологом леса свидетельствует о том, что высокая сомкнутость насаждений не является лимитирующим фактором для появления самосева ели, но препятствует выживанию подростка старшего возраста. В сомкнутых насаждениях еловый подрост приурочен к просветам древесного полога диаметром 14...18 м, так как основным лимитирующим фактором его выживания в этом случае является свет. В еловых насаждениях Северного Тянь-Шаня с понижением полноты насаждений увеличивается возраст благонадежного подростка. Отрицательное влияние на выживание подростка оказывает конкуренция взрослых растений и напочвенный покров.

Ключевые слова: ель Шренка, естественное возобновление, высота, возрастные группы, горные леса.

*Статья подготовлена по материалам международного симпозиума «Лесное хозяйство: интеграция и вклад в развитие сельских территорий» (15–16 мая 2018 г., г. Нижний Новгород).

Для цитирования: Мамбетов Б.Т., Келгенбаев Н.С., Майсупова Б.Д., Досманбетов Д.А., Дукунов Ж.С. К методике оценки естественного возобновления ели Шренка в условиях горных лесов Северного Тянь-Шаня // Лесн. журн. 2018. № 4. С. 63–69. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.63

Введение

Еловые леса Северного Тянь-Шаня, сложенные основной лесообразующей породой – елью Шренка (*Picea shrenkiana* Fisch. et Mey.), имеют водоохранные, почвозащитные, санитарно-гигиенические, оздоровительные, рекреационные и другие полезные функции [6].

Ель Шренка – эндемик Тянь-Шаня и по своей долговечности, стройности, высоте и величавости сравнима с американской секвойей. Продолжительность жизни ели – до 500 лет. По мнению Н.И. Рубцова [8], флора Северного Тянь-Шаня насчитывает примерно 2500 видов. На высоты от 1000 до 2500 м над уровнем моря приходится более половины, на высокогорный пояс – 25 %, остальное – на низкоегорье и предгорные равнины. Основной жизненной формой являются травянистые многолетники.

В горах Северного Тянь-Шаня до высот 2800 м простирается лес паркового типа, рощи ели Шренка перемежаются с альпийскими лугами. На южных склонах хребта этого высотного пояса встречаются заросли арчи, которые в субальпийских лугах становятся еще более густыми.

Объекты и методы исследования

В ходе исследований изучены ельники горных лесов Северного Тянь-Шаня из елей и трав, образующих мощный лесолуговой пояс (1700...2900 м). Кроме ели Шренка здесь произрастают черемуха, шиповник, ива, осина, малина, жимолость, папоротники. В верхней части этого пояса идут участки низкорослого ельника с подлеском из можжевельового стланика. Травяной покров состоит из тимофеевки, купальницы, гвоздики и мака.

Многие исследователи еловых лесов Тянь-Шаня отмечают их неудовлетворительное состояние [3, 9]. Одной из причин этого они считают отсутствие возобновления, что происходит из-за неправильного ведения лесного хозяйства, нерациональных рубок и технологий лесосечных работ. Л.С. Чешев [13] пишет о том, что при обследовании лесосек прошлых лет по пням можно было восстановить картину, свидетельствующую о характере проведенных рубок. Возобновление на описанных участках на момент обследования отсутствовало по причине не прекращающихся после проведения рубок интенсивных антропогенных нагрузок. В настоящее время еловые леса Тянь-Шаня представлены в основном спелыми и перестойными насаждениями. Проводимые в них мероприятия должны, прежде всего, способствовать их естественному возобновлению, сохранению и усилению защитных функций. Одним из главных критериев для проведения лесоводственных мероприятий в еловых лесах является наличие и количество подроста на единице площади. Очень важное значение имеет правильная оценка успешности естественного возобновления, от которого зависит своевременность назначения большинства лесовосстановительных мероприятий.

Для того, чтобы проанализировать успешность естественного лесовозобновления, необходимо оценить численность (густоту) и размещение подроста по площади. Эти показатели в значительной степени обуславливают строение, структуру древостоя и производительность насаждения [5].

При проведении лесоинвентаризационных работ успешность облесения оценивают чаще всего по показателю средней численности подроста на 1 га. Этот показатель, основанный на подсчете подроста и самосева на площадках определенных размеров, положен в основу многочисленных шкал.

В ряде из них ставится условие равномерности распределения подроста по площади, хотя никаких количественных критериев равномерности не дается. Для оценки успешности естественного возобновления используется специальная шкала, в которой нормы количества подроста также приводятся усредненными на всю площадь. В настоящее время разработано большое число шкал оценки естественного возобновления [7, 8, 10] и предложены самые различные методы учета численности подроста по учетным площадкам [1, 10]. Некоторыми авторами оценочных шкал было отмечено, что нельзя объективно оценивать успешность естественного возобновления, пользуясь только данными о численности подроста.

При изучении возобновления ели весь самосев подразделяют по шкале В.Г. Нестерова [2] на следующие возрастные группы: до 5 лет, 6–10 лет, старше 10 лет или дополнительно выделяют группу подроста 11–15(20) лет. Л.С. Чешев [13] отмечает, что недостатком этого метода является то, что в полевых условиях трудно определить возраст подроста ели Шренка из-за ее медленного роста. Более точно об этом показателе можно судить только по срезу у корневой шейки.

Другой особенностью самосева ели Шренка является то, что его массовая гибель происходит в начальный период, как отмечает И.Г. Серебряков [11], при выходе из-под травяного покрова. Поэтому подрост ели можно считать благонадежным при условии, если он достиг высоты 50 см и более, т. е. уже вышел из-под прикрытия травяного покрова.

Основываясь на изученных особенностях роста ели в молодом возрасте и специфике отпада, Л.С. Чешев [13] разработал шкалу оценки естественного возобновления ели Шренка.

По этой шкале весь самосев и подрост ели делят по высоте на три группы: первая – самосев до 20 см, вторая – 21...50 см, третья – более 50 см. Для определения успешности естественного возобновления ели учет самосева и подроста следует проводить по этим высотным группам, а окончательную оценку давать по численности благонадежного подроста (более 50 см). Для этого данные перечета умножают на соответствующие переводные коэффициенты для нахождения отпада самосева и суммируют. Переводной коэффициент для первой группы высот составляет 0,2, для второй – 0,4, для третьей – 1,0. Таким образом, за «стандартный» подрост в еловых лесах принимается жизнеспособный (благонадежный) подрост, достигший высоты 50 см и более. Эта универсальная шкала отличается тем, что ею легко пользоваться.

Результаты исследования и их обсуждение

Естественное возобновление ели Шренка не может протекать одинаково во всех лесорастительных условиях.

У каждого участка (выдела) в зависимости от экологических условий есть предел естественного возобновления, выше которого оно не может быть в силу указанных условий. Поэтому к оценке естественного возобновления необходимо подходить достаточно гибко, учитывая условия участка (абсолютную высоту местности, экспозицию, крутизну склонов).

Для построения моделей в центре лесорастительного района выбирают несколько ущелий или большой макросклон, от нижней до верхней границы лесов прокладывают горизонтальные ходы через каждые 100 м по абсолютной высоте.

На первом этапе работы выбирают место и осуществляют сбор фактического материала. Все данные по учетным площадкам заносят в учетную ведомость. Одновременно с прокладкой горизонтальных ходов закладывают учетные площадки размером 16 м^2 через каждые 10 м по линии хода. При оценке лесовозобновления отсутствует единое мнение по вопросу оптимальных размеров учетных площадок. Чаще всего рекомендуется использовать площадки по 4 и 10 м^2 . В Скандинавских странах и Канаде считается, что площадки по 4 м^2 соответствуют наиболее рациональной исходной площади питания саженцев в лесных культурах, в том числе ели. По методике М.А. Проскуракова [4] для оценки встречаемости ели Шренка применяются учетные площадки в форме круга размером 16 м^2 . Указанная площадь близка к площади, приходящейся на одно взрослое дерево хвойных пород в том периоде, когда дальнейшее ее увеличение уже не регулируется напряженностью конкурентных отношений между взрослыми деревьями в лесу. Учетная площадка такого размера позволяет оценивать встречаемость всех особей лесообразующих пород на уровне взрослых деревьев, так как наличие даже одной перспективной особи подростка свидетельствует о занятости площадки в дальнейшем. Поэтому увеличение размера учетной площадки более 16 м^2 нецелесообразно, а ее уменьшение приведет к тому, что при оценке встречаемости неизбежно окажутся пустыми учетные площадки [4].

Для каждой такой учетной площадки фиксируются: азимут (экспозиция); крутизна склона; наличие деревьев ели, подростка и самосева, из которых в перспективе могло бы вырасти не менее одного дерева, пней. При этом учетная площадка считается занятой, если на ней имеются пни. В камеральных условиях для учетных площадок рассчитывается годовой приход солнечной радиации [12]. Составляется возможный годовой приход солнечной радиации в зависимости от высоты над уровнем моря, крутизны и азимута склона, на основе этого строится модель обилия ели Шренка.

Заключение

Естественное возобновление древесного вида, в данном случае ели Шренка, произрастающей в горных лесах Северного Тянь-Шаня, оценивается как успешное, если фактическая встречаемость на площадках равна рассчитанной по методике М.А. Проскуракова или несущественно отличается от нее. Встречаемость древесного вида в любых экологических условиях достаточно определить на 50...100 учетных площадках. Площадки закладывают по принятой схеме с учетом особенностей выдела (площади), а возможную встречаемость ели Шренка определяют по модели. На этом этапе дается оценка естественного возобновления путем сопоставления возможной встречаемости по модели и фактической встречаемости. Возобновление признается неудовлетворительным, когда фактическая занятость площади елью Шренка более чем на 20 % ниже возможной занятости на выделе. Удовлетворительным возобновление признается при разности менее 20 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бузыкин А.И., Побединский А.В. К вопросу учета подростка и самосева // Тр. Ин-та леса и древесины Сиб. отд-ния АН СССР. Красноярск, 1963. Т. 57: Лесоводственные исследования в лесах Сибири. С. 185–191.

2. Венгловский Б.И., Лукашевич И.В., Исаков А. Создание лесных культур из ели тянь-шаньской // Рациональное использование и сохранение лесных ресурсов: междунар. науч. конф., 3–7 окт. 2006 г. Вып. 21. Бишкек: Илим, 2006. С. 117–120.

3. Гуриков Д.Е. Типы еловых лесов Северо-Восточного Тянь-Шаня // Тр. КазНИИЛХ. 1966. Вып. 5. С. 85–90.

4. Колов О.В., Мусуралиев Т.С., Замошников В.Д., Бикиров Ш.Б., Каблицкая Т.М. Лес и лесопользование в горах // Горы Кыргызстана. Бишкек, 2001. 130 с.

5. Кузьмичев В.В. Закономерности роста древостоев. Новосибирск: Наука, 1977. 160 с.

6. Лесной кодекс Республики Казахстан: от 8 июля 2003 г. № 477. Режим доступа: https://online.zakon.kz/document/?doc_id=1041486 (дата обращения: 06.02.2018).

7. Нестеров В.Г. Методика изучения естественного возобновления леса. Красноярск: СИБТИ, 1948. 75 с.

8. Побединский А.В. Изучение лесовосстановительных процессов. М.: Наука, 1966. 64 с.

9. Проскуряков М.А. Размещение деревьев в еловых биогеоценозах Северо-Восточного Тянь-Шаня // Изв. АН КазССР. Сер. биол. 1972. № 1. С. 23–30.

10. Сафронов М.А., Волокитина А.В., Мартынов А.Н. Оценка успешности лесовозобновления с учетом разновозрастности подроста и неравномерности его размещения по площади // Лесн. хоз-во. 2003. № 5. С. 16–17.

11. Серебряков И.Г. Биология тянь-шаньской ели и типы ее насаждений в пределах Заилийского и Кунгей Алатау // Тр. Ботан. сада. Уч. зап. МГУ. 1945. Вып. 82, кн. 5. С. 103–175.

12. Справочник по климату СССР. Вып. 18. Казахская ССР. Ч. 1. Солнечная радиация, радиационный баланс и солнечное сияние. Л.: Гидрометеиздат, 1967. 118 с.

13. Чеусев Л.С. Рубки и возобновление в еловых лесах Прииссыккуля. Фрунзе: Илим, 1974. 29 с.

Поступила 06.03.18

UDC 630*230.2

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.63

On the Evaluation Technique of Natural Regeneration of Schrenk's spruce (*Picea schrenkiana*) in Mountain Forests of the Northern Tien Shan

B.T. Mambetov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

N.S. Kelgenbaev, Postgraduate Student, Research Officer

B.D. Maysupova, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher

D.A. Dosmanbetov, Master, Research Officer

Zh.S. Dukenov, Research Assistant

Almaty Branch of the Kazakh Scientific and Research Institute of Forestry and

Agroforestry, ul. Ozernaya, 17a, Almaty, 050050, Republic of Kazakhstan;

e-mail: los-almaty@mail.ru, nurzhan_n_n@mail.ru, bagila.maisupova@mail.ru,

daniyar_d.a.a@mail.ru, 7078786694@mail.ru

Mountain forests are the forests located within the mountain systems and individual mountain groups with fluctuations in relative terrain evaluation of more than 100 m and an average surface slope from the foot to the top of mountain ridges or to the border of treeless

For citation: Mambetov B.T., Kelgenbaev N.S., Maysupova B.D., Dosmanbetov D.A., Dukenov Zh.S. On the Evaluation Technique of Natural Regeneration of Schrenk's spruce (*Picea schrenkiana*) in Mountain Forests of the Northern Tien Shan. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2018, no. 4, pp. 63–69. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.63

spaces over 5° (individual slope sections may have a steepness of less than 5°), as well as forests on mountain plateaus and highlands independent of the slope of the land. They do not include forests on hills that are not part of the mountain systems. Mountain forests occupy about 40 % of the total area of forests in Kazakhstan. In the mountain forests of the Northern Tien Shan, Schrenk's spruce (*Picea schrenkiana*) is the main forest-forming species, which naturally grows at an altitude of 1500...2900 m above sea level. On the northern, northwestern and northeastern slopes of the Northern Tien Shan in spruce plantations at an altitude of more than 2,200 m, the choice of the composition of tree species is not relevant, as the growth of other species is difficult due to harsh climatic conditions. The goal of research is to find and justify the method of assessing the natural renewal of Schrenk's spruce (*Picea schrenkiana*) in the mountain forests of the Northern Tien Shan, based on literature sources and own research. Spruce seedling growth and undergrowth are divided into three high-altitude groups. The study of the success of spruce natural regeneration, accounting of seedling growth and undergrowth should be carried out in high-altitude groups; the final estimate should be given in terms of the number of establishing undergrowth above 50 cm. The account of regeneration under the forest canopy indicates that high closeness of plantations is not a limiting factor for the emergence of self-seeding spruce, but it prevents the survival of undergrowth of older age. In high-density stands, spruce undergrowth is confined to lumens of a tree canopy with a diameter of 14...18 m, since the main limiting factor of its survival in this case is light. In the spruce plantations of the Northern Tien-Shan, with a decrease in the stand density, the age of establishing undergrowth increases. The competition of adult plants and ground cover influence negatively on the undergrowth survival.

Keywords: *Picea schrenkiana*, natural regeneration, height, age group, mountain forest.

REFERENCES

1. Buzykin A.I., Pobedinskiy A.V. K voprosu ucheta podrosta i samoseva [On the Accounting of Undergrowth and Seedling Growth]. *Trudy Instituta lesa i drevesiny*. [Siberian Branch of the USSR AS], 1963, vol. 57, pp. 185–191.
2. Venglovskiy B.I., Lukashevich I.V., Isakov A. Sozdanie lesnykh kul'tur iz eli tyan'-shan'skoy [Creation of Forest Cultures from *Picea schrenkiana*]. *Ratsional'noe ispol'zovanie i sokhranenie lesnykh resursov: mezhdunar. nauch. konf., 3–7 okt. 2006 g. Vyp. 21* [Rational Use and Conservation of Forest Resources: Intern. Sci. Conf., October 3–7, 2006. Iss. 21]. Bishkek, Ilim Publ., 2006, pp. 117–120. (In Russ.)
3. Gurikov D.E. Tipy elovykh lesov Severo-Vostochnogo Tyan'-Shanya [Types of Spruce Forests in the Northeast Tien Shan]. *Trudy KazNIILKh*, 1966, no. 5, pp. 85–90.
4. Kolov O.V., Musuraliev T.S., Zamoshnikov V.D., Bikirov Sh.B., Kablitskaya T.M. Les i lesopol'zovanie v gorakh [Forest and Forest Management in the Mountains]. *Gory Kirgystana* [Mountains of Kyrgyzstan]. Bishkek, 2001. 130 p. (In Russ.)
5. Kuz'michev V.V. *Zakonomernosti rosta drevostoev* [Regularities of the Stands Growth]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1977. 160 p. (In Russ.)
6. *Lesnoy kodeks Respubliki Kazakhstan: ot 8 iyulya 2003 g. № 477-II* [Forest Code of the Republic of Kazakhstan: No. 477-II of 8 July 2003]. Available at: https://online.zakon.kz/document/?doc_id=1041486 (accessed 06.02.2018).
7. Nesterov V.G. *Metodika izucheniya estestvennogo vozobnovleniya lesa* [Methodology for the Study of Forests Natural Renewal]. Krasnoyarsk, SIBTI Publ., 1948. 75 p. (In Russ.)
8. Pobedinskiy A.V. *Izuchenie lesovosstanovitel'nykh protsessov* [Study of Reforestation Processes]. Moscow, Nauka Publ., 1966. 64 p. (In Russ.)

9. Proskuryakov M.A. Razmeshcheniye derev'ev v elovykh biogeotsenozakh Severo-Vostochnogo Tyan'-Shanya [The Location of Trees in Spruce Biogeocoenoses of the North-Eastern Tien Shan]. *Izvestiya AN Kazakhskoy SSR. Ser. "Biologicheskaya"* [News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Ser. of Biology], 1972, no. 1, pp. 23–30.

10. Safronov M.A., Volokitina A.V., Martynov A.N. Otsenka uspekhov lesovozobnovleniya s uchetom raznovozrastnosti podrosta i neravnomernosti ego razmeshcheniya po ploshchadi [Measuring Success of Reforestation, Taking into Account the Multiple-Aged Undergrowth and Nonuniformity of Its Distribution over the Area]. *Lesnoe khozyaystvo*, 2003, no. 5, pp. 16–17.

11. Serebryakov I.G. Biologiya tyan'-shan'skoy eli i tipy ee nasazhdeniy v predelakh Zailiyskogo i Kungey Alatau [Biology of *Picea schrenkiana* and Types of Its Plantations within the Zailiyskiy and Kungey Alatau]. *Trudy Botanicheskogo sada. Uchenye zapiski MGU*, 1945, no. 82, book 5, pp. 103–175.

12. *Spravochnik po klimatu SSSR. Vyp. 18. Kazakhskay SSR. Ch. 1. Solnechnaya radiatsiya, radiatsionnyy balans i solnechnoe siyanie* [Reference Book on the USSR Climate. Issue 18. Kazakh Autonomous Soviet Socialist Republic. Part 1. Solar Radiation, Radiation Balance and Sunshine]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1967. 118 p. (In Russ.)

13. Cheshev L.S. *Rubki i vozobnovlenie v elovykh lesakh Priissykkul'ya* [Felling and Renewal in Spruce Forests of the Issyk-Kul Region]. Frunze, Ilim Publ., 1974. 29 p. (In Russ.)

Received on March 06, 2018

УДК 630*242:630*116

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.70

РЕЗУЛЬТАТЫ РУБОК УХОДА НА ОСУШАЕМЫХ ЗЕМЛЯХ ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ*

Е.А. Мариничев, канд. с.-х. наук, доц.

Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, просп. Гагарина, д. 97, г. Нижний Новгород, Россия, 603107; e-mail: dobr2000@rambler.ru

Заболоченные леса и болотные земли, составляющие гидролесомелиоративный фонд Вологодской области, занимают площадь 1014,4 тыс. га, из которых 742,1 тыс. га сосредоточено на покрытых лесом землях. Повышения производительности избыточно увлажненных лесов можно добиться, используя комплекс лесохозяйственных мероприятий: осушение, рубки ухода за лесом, рубки спелых и перестойных насаждений. Опыт комплексного лесохозяйственного освоения лесов необходим для научного обоснования применения тех или иных способов рубок на осушаемых торфяных почвах. Вопросам формирования на осушаемых землях древостоев оптимального породного и возрастного состава посредством определенной системы рубок требуется уделять большее внимание. Исследование направлено на выявление оптимальных режимов рубок ухода в средневозрастных сосняках на осушаемых землях, обеспечивающих выращивание устойчивых продуктивных лесных насаждений. Экспериментальный материал собран на стационарных объектах Вологодской области, обобщены результаты исследований в сосняках на почвах мезотрофного и олигомезотрофного типов заболачивания, сделаны выводы и даны практические рекомендации. На пробных площадях определены морфометрические показатели древостоев. Обработка динамических повторностей перечета на пробных площадях с нумерацией осуществлялась с делением совокупности деревьев по фиксированным ступеням и выявлением для них динамики роста. Доказано, что в Вологодской области можно выращивать более высокопродуктивные насаждения и в условиях повышенного увлажнения. Среди мероприятий по интенсификации ведения лесного хозяйства необходимо выделить научно обоснованное проведение рубок ухода. Использование регулируемого процесса рубок ухода за лесами позволит стабилизировать структуру лесного фонда и повысить производительность насаждений. Проведение рубок ухода имеет важное значение в насаждениях, пройденных осушением, в связи с усилением отпада и дифференциации деревьев. Улучшение таксационных показателей насаждений на осушаемых торфяных почвах возможно только при применении высокоинтенсивных рубок ухода.

Ключевые слова: осушение, заболачивание, прореживание, лесоводственная эффективность, рубки ухода.

Введение

На переувлажненных лесных участках, охваченных осушением, необходимо постоянно поддерживать на оптимальном для выращивания продуктивных насаждений уровне водно-воздушные и температурные режимы почв [2, 4, 7, 9, 10, 15]. Гидротехнические мелиорации, как отдельные мероприятия,

*Статья подготовлена по материалам международного симпозиума «Лесное хозяйство: интеграция и вклад в развитие сельских территорий» (15–16 мая 2018 г., г. Нижний Новгород).

Для цитирования: Мариничев Е.А. Результаты рубок ухода на осушаемых землях Вологодской области // Лесн. журн. 2018. № 4. С. 70–78. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.70

не всегда позволяют достичь максимальных значений продуктивности. Формирование насаждений с оптимальными таксационными характеристиками на объектах осушения должно проводиться лесохозяйственными мерами, в первую очередь с применением лесоводственной системы рубок [1, 3, 8, 9, 11, 12, 14].

Активное использование рубок ухода на лесных участках, пройденных осушительными мелиорациями, обеспечит формирование высокопродуктивных лесных насаждений к возрасту спелости [3, 13].

Цель исследования – обоснование лесоводственной эффективности рубок ухода в средневозрастных сосновых насаждениях на объектах гидротехнической и химической мелиораций при условии поддержания устойчивости природной среды.

В ходе исследования решались следующие задачи:

1. Выявление и характеристика изменений почвенных и гидрологических условий под влиянием осушительной мелиорации и рубок ухода.
2. Обоснование лесоводственной эффективности прореживаний в средневозрастных сосняках на участках с переходным и верхово-переходным типом заболачивания.

Проведение исследования позволит впервые для крупного природно-территориального комплекса выявить влияние режима изреживания на лесоводственную эффективность рубок ухода в сосняках.

Объекты и методы исследования

Научные исследования выполнены в виде комплекса работ с элементами мониторинга на 4 производственных объектах и 5 гидролесомелиоративных стационарах, заложенных в 1984–1989 гг. Вологодской региональной лабораторией СевНИИЛХа. Исследования включали сплошные перечеты деревьев, замеры высот, подбор и анализ модельных деревьев, описание напочвенного покрова на учетных площадках, описание морфологического строения профилей почв и их агрохимическую характеристику. Исследования на стационарных объектах являются продолжением ранее начатых, позволяя проследить за изменениями на лесных участках под воздействием осушения и рубок ухода.

Основной объем работ, выполненных в процессе исследования, включает: проведение комплексных учетных работ в осушаемых насаждениях; оценку изменения живого напочвенного покрова на учетных площадках; подбор и анализ модельных деревьев для установления особенностей хода роста сосновых насаждений, динамики прироста по диаметру и в высоту.

Проведенные полевые и камеральные исследования, статистическая обработка полученного экспериментального материала позволили сделать достоверные научно-обоснованные выводы и разработать рекомендации для практического использования рубок ухода.

Объекты исследования расположены на территории Кадниковского, Борисово-Судского, Вологодского и Череповецкого лесничеств департамента лесного комплекса Вологодской области. Комплексные стационарные исследования выполнены в лесных насаждениях, произрастающих на торфяных почвах переходного и верхово-переходного типов заболачивания. Исследуемые лесные участки характеризуются однородным породным составом насаждений (сосняки), возрастным составом (средневозрастные), типом строения (одновозрастные, условно-разновозрастные, ступенчато-разновозрастные) и различающимися

интенсивностью рубками ухода в древостоях (от 3 до 52 % по запасу). Подобранные объекты, на которых давно проводились осушение (1979 г.) и рубки ухода (1984 г.).

На пробных площадях к моменту осушительных мелиораций под влиянием пожаров, оказывающих стимулирующее влияние на процессы лесовосстановления на торфяных почвах, сформировались загущенные насаждения (табл. 1), в которых доминировала сосна, в небольших количествах присутствовала ель, береза, осина и ива.

Таблица 1

**Характеристика насаждений до проведения осушения и рубок ухода
(по данным лесоустройства 1970–1980 гг.)**

Стационар	Таксационные показатели древостоя						
	Состав	Средние			Полнота	Класс бонитета	Запас, м ³ /га
		возраст, лет	диаметр, см	высота, м			
Пельшма	9С1Е+Бед.Ос	30	4	3	0,8	Va	30
Дор	9С1С ₍₁₄₅₎ +Б	50	4	5	0,9	Va	50
Лукино	10С +Е ед.Б	30	5	6	0,9	IV	60
Городищенская дача	10С ед.Б	40	7	10	0,8	III	110
Борисово	10С ед.Б, Ив	60	5	6	1,0	Va	70

Выполненная в 1979 г. осушительная мелиорация лесных участков не обеспечила достижения максимально возможной производительности сосновых насаждений. Повышенная загущенность средневозрастных насаждений обуславливала процессы дифференциации и отпада деревьев. Насаждения нуждались в проведении рубок ухода.

Пробные площади на стационарах охватывают объекты с проведенными прореживаниями и внесением минеральных удобрений. Торфяные почвы – олиго-мезотрофного и мезотрофного типов заболачивания с древесно-осоковыми, осоково-сфагновыми и сфагновыми торфами.

На стационарах имеется небольшое различие в мощности торфяной залежи (варьирование в пределах от 0,3 до 1,9 м). По мере нарастания ее отмечается резкое снижение зольности (от 8,5 до 3,5 %). Наблюдаются процессы смены типа торфообразования под воздействием осушения, что проявляется преобладанием в живом напочвенном покрове травяно-кустарничковой растительности.

На пробных площадях с почвами переходного типа заболачивания, по сравнению с верхово-переходным, торф имеет более высокую степень разложения и зольность. Это указывает на большее потенциальное плодородие. В почвенном профиле выявлены послепожарные прослойки и сохранившиеся древесные угли, свидетельствующие о проходивших ранее лесных пожарах. В сосновых насаждениях пожары случаются довольно часто и имеют определенную цикличность. Они оказывают влияние на состояние компонентов биогеоценозов [3, 5, 6].

Выявлено, что на одном из обследованных участков формированию торфяной залежи по верховому типу способствовала сплошная рубка, проведенная в 30–40-х гг. прошлого столетия. При исследовании торфяной залежи здесь обнаружены пни с признаками спиливания.

Рубки леса и пожары являются мощными факторами, оказывающими влияние на формирование лесорастительных условий [3, 15]. Сплошные рубки, лишаящие лесные участки древостоев, в условиях переувлажнения усиливают процесс болотообразования, способствуя смене типа заболачивания с переходного на верховой.

Пожары обеспечивают формирование на участках сосновых средневозрастных высокополнотных насаждений (с полнотой более 1,0). Возрастной тип строения сформированных сосновых насаждений зависит от интенсивности пожаров. Слабые пожары приводят к формированию ступенчато-разновозрастных сосняков. Исследование торфов показывает, что характеристика нижних слоев соответствует верховому типу заболачивания. В данных слоях выявлен среднеразложившийся осоково-сфагновый торф. Осушение лесных участков обеспечивает изменение болотообразовательного процесса, при этом торф по своим химическим свойствам приближается к низинному типу. Живой напочвенный покров изменяет состав. Наблюдается разрастание трав, черники, брусники (местами) и других кустарничков, характерных для мезотрофного типа заболачивания. Торф на обследованных лесных участках характеризуется среднекислой реакцией. Степень насыщенности горизонтов почвы основаниями выше, чем в олиготрофных торфах. Торфы имеют среднюю степень разложения.

Особенностью формирования насаждений на переувлажненной торфяной почве является наличие в средневозрастных сосняках отдельных спелых и перестойных деревьев. Деревья сосны старшего возраста обладают слабой отзывчивостью к изменению среды в процессе осушения. После прокладки мелиоративной сети необходимо проводить изреживание в лесных насаждениях с обязательным удалением указанных деревьев и рубки ухода с элементами рубок спелых и перестойных лесных насаждений.

Уходы в 55-летних сосновых насаждениях в осоково-кустарничково-сфагновых и осоково-сфагновых типах проводились осенью 1984 г. Интенсивность выборки по запасу варьировала от 3 до 52 %, по числу стволов – от 20 до 73 %. Применялся комбинированный метод отбора деревьев. В рубку назначались деревья сосны 120–160-летнего возраста и березы (полностью), подлесок ивы. Лучшими считались здоровые сосновые деревья с компактной кроной. Для исключения формирования прогалин при рубке групп спелых деревьев в небольшом количестве были оставлены ослабленные деревья средневозрастной сосны.

На почвах верхово-переходного типа заболачивания до осушения сосняки достигали IV-V класса бонитета, на почвах переходного типа – III-V класса бонитета. На исследуемых объектах среднегодовой прирост по запасу не превышал 0,7...1,2 м³/га. За счет осушительной мелиорации повышается производительность таких насаждений. После осушения дополнительный среднегодовой прирост древесины достигал 2,9...3,1 м³/га. Данное увеличение прироста не является предельным для описываемых условий местопрорастания. Применение системы рубок (в первую очередь рубок ухода) позволяет повысить производительность осушаемых древостоев.

В смешанных сосново-березовых, сосново-елово-березовых насаждениях основная часть деревьев сосны подвергается охлестыванию березой. Деревья, ослабленные охлестыванием лиственных пород и угнетающим господствующим ярусом, целесообразно назначать в рубку, если не нарушается принцип равномерного изреживания и не образуется пустот в местах уборки деревьев старших возрастных поколений.

Принцип и последовательность отбора деревьев в рубку должны быть следующими. В первую очередь отбираются деревья лиственных пород, затем отдельные экземпляры спелого и перестойного возрастных поколений из-за их меньшей отзывчивости на осушение. Далее отбор осуществляется от ослабленных деревьев главной породы к более здоровым с хорошей реакцией роста на улучшение почвенно-гидрологических и световых условий.

Прореживания слабой интенсивности по запасу, даже при высокой выборке по числу стволов (ПП 4, 12), дают малый лесоводственный эффект (табл. 2).

Таблица 2

Анализ хода роста древостоя

№ ПП	Давность рубки	Интенсивность, %		Изменение запаса, м ³ /год	Дополнительный ежегодный прирост		
		по числу стволов	по запасу		по диаметру, см	по высоте, м	по запасу, м ³ /га
<i>Олигомезотрофный тип заболачивания</i>							
2	5			11,0	0,14	0,30	2,6
	9	73	48	11,0	0,06	0,22	5,1
	17			9,0	0,10	0,11	5,0
4	5			2,8	–	–	–
	9	62	20	2,0	–	–	–
	17			1,6	0,03	0,06	–
19	5			11,8	0,18	0,06	3,4
	9	65	52	12,4	0,22	0,22	6,5
	18			7,9	0,11	0,11	3,9
13 (контроль)				4,0			
<i>Мезотрофный тип заболачивания</i>							
7	5			10,4	0,30	0,10	7,0
	17	53	49	9,2	0,17	0,07	4,9
10	2			5,0	0,37	–	1,8
	5	51	46	5,2	0,28	–	1,8
	17			5,7	0,33	0,20	1,4
12	3			4,0	0,22	0,12	0,6
	17	58	28	4,6	0,27	0,30	0,3
18 (контроль)				4,3			

Длительность положительного действия уходов распространяется только на первые 5 лет. На таких участках повторные приемы рубок ухода требуются уже во втором пятилетии.

Усиленный рост наблюдается в загущенном древостое после интенсивных по запасу рубок (ПП 2, 7, 10, 19). В насаждениях с высокой полнотой (до 1,03) до ухода после рубки высокой интенсивности по запасу и числу стволов отмечается дополнительный прирост по запасу до 5,0 м³/га. Дополнительный ежегодный прирост от рубок ухода близок к приросту от осушительной мелиорации.

В первом десятилетии оставшиеся деревья изреженного древостоя демонстрируют повышенную энергию роста. В дальнейшем идет постепенное снижение темпов роста. Анализ хода роста деревьев в сосняках с верхово-переходным типом заболачивания указывает на необходимость назначения следующих приемов рубок ухода через 10–15 лет, в сосняках с переходным типом – через 15–20 лет.

При проведении перерасчетов на пробных площадях древостой разбивался на части (категории роста): медленно-, средне- и быстрорастущие. Отнесение древесных стволов к категории роста осуществлялось после определения среднего диаметра древостоя. Установленный диаметр являлся средним для среднерастущих. Деревья с диаметром меньше среднего группировались в категорию медленно-растущих, больше среднего – быстрорастущих. Отмечалась различная реакция деревьев в древостое по категориям роста на проведенные рубки ухода (табл. 3).

Таблица 3

Различия в коэффициентах роста деревьев для опыта (ПП 19) и контроля (ПП 13)

Показатель текущего прироста	Категория роста деревьев		
	Медленнорастущие	Среднерастущие	Быстрорастущие
После осушения:			
по высоте	16±1,8	-36±3,8	-25±1,9
по диаметру	58±4,1	33±2,7	66±5,3
по объему	181±12,1	44±3,9	233±18,1
После прореживания:			
по высоте	8±0,6	-36±2,1	-15±1,1
по диаметру	7±0,6	29±2,2	8±0,6
по объему	84±6,2	16±1,3	22±1,8

Во всех категориях наблюдалось увеличение прироста по диаметру. В высоту увеличение темпов прироста характерно для медленно-растущих деревьев. В других категориях отмечено небольшое снижение прироста в высоту по сравнению с контрольным древостоем. Однако прирост по объему у данных деревьев увеличивался.

Деревья всех размеров демонстрировали положительную реакцию на изреживание, но у деревьев средних и выше ступеней толщины объемный прирост больше.

Характерной особенностью является то, что в древостоях, пройденных рубками ухода, в связи с их давностью разница текущего прироста по категориям деревьев сокращается в отличие от контрольного. Это свидетельствует о том, что по мере давности уходов происходит выравнивание роста оставшихся деревьев, а в контрольном древостое с возрастом усиливается дифференциация.

Анализ хода роста деревьев показал, что влияние рубок ухода, выражающееся в различиях среднепериодического прироста по диаметру и высоте, на лесных участках, пройденных рубками ухода, и участках без ухода, сохраняется в течение всего послерубочного периода. С увеличением интенсивности рубок усиливается положительная реакция роста деревьев. Текущий прирост по абсолютной величине и тенденциям изменений зависит от размеров оставшихся после рубки деревьев.

Заключение

Результаты исследования позволяют обосновать последовательность и принципы отбора деревьев в рубку. Снижение полноты насаждения необходимо проводить на почвах с переходным типом заболачивания до 0,6–0,7; на почвах с верхово-переходным типом – до 0,5. В случае куртинного размещения деревьев по лесному участку на обоих типах торфяной залежи допускается снижение полноты до 0,5.

Оптимальное количество оставляемых на последующее выращивание деревьев для почв переходного типа заболачивания составляет 1,5...2,0 тыс. шт./га, для почв верхово-переходного типа – 1,4...1,5 тыс. шт./га. Из-за угнетающего влияния березы на рост хвойных пород ее долевое участие в составе древостоя свыше 10...15 % нецелесообразно.

Создание благоприятных почвенно-гидрологических условий с обеспечением нормы осушения и проведением лесосечных работ по выборке деревьев спелого и перестойного возраста и изреживание древостоя в средневозрастном поколении позволяют выращивать насаждения на переходных и верхово-переходных торфах до I-II классов бонитета. Своевременное проведение рубок ухода резко повышает эффективность лесосушения. Промедление с уходами влечет за собой ослабление эффективности гидротехнической мелиорации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Артемьев А.И., Дружинин Н.А., Худяков В.В., Боголепов В.Г., Нилейко Л.С.* Рекомендации по ведению лесного хозяйства в осушаемых лесах Европейского Севера. Архангельск: Арханг. ин-т леса и лесохимии, 1991. 23 с.
2. *Вернодубенко В.С., Дружинин Н.А.* Особенности формирования ранней и поздней древесины сосны на торфяных почвах // Лесн. журн. 2014. № 1. С. 54–61. (Изв. высш. учеб. заведений).
3. *Дружинин Н.А.* Лесоводственно-экологическое обоснование ведения лесного хозяйства в осушаемых лесах: дис. ... д-ра с.-х. наук. СПб., 2006. 348 с.
4. *Загуральская Л.М.* Экспериментальное изучение биологической активности торфяных почв Карелии // Эксперимент и математическое моделирование в изучении биогеоценозов лесов и болот: тез. докл. Всесоюз. сов., 4–6 авг. 1987 г., г. Зап. Двина, Калининская обл. М., 1987. С. 23–26.
5. *Коллист П.И.* Некоторые данные о лесорастительных условиях на осушенных переходных болотах // Тр. Ин-та леса АН СССР. 1959. Т. 49. С. 19–26.
6. *Комин Г.Е.* Цикличность лесообразовательного процесса // Теория лесообразовательного процесса: тез. докл. Всесоюз. совещ., 19–21 нояб. 1991 г., г. Красноярск. Красноярск: Ин-т леса и древесины им. В.Н. Сукачева СО АН СССР, 1991. С. 71–72.
7. *Константинов В.К.* Эксплуатация лесосушительных систем: моногр. М.: Лесн. пром-сть, 1979. 152 с.
8. *Смирнов А.П.* Лесорастительный потенциал осушенных торфяно-болотных почв и его рациональное использование: дис. ... д-ра с.-х. наук. СПб., 2003. 331 с.
9. *Huuskonen S., Ahtikoski A.* Ensiharvennuksen ajoituksen ja voimakkuuden vaikutus kuivahkon kankaan männiköiden tuotokseen ja tuottoon [Impact of Timing and Intensity of the First Thinning on the Yield and Profitability of Dryish Heath Pine Stands] // Metsätieteen aikakauskirja. 2005. No. 2. Pp. 99–115.
10. *Jutras S., Plamondon A.P.* Water Table Rise after Harvesting in a Treed Fen Previously Drained for Forestry // Suo. 2005. Vol. 56(3). Pp. 95–100.
11. *Kojola S., Penttilä T., Laiho R.* First Commercial Thinnings in Peatland Pine Stands: Effect of Timing on Fellings and Removals // Baltic Forestry. 2005. Vol. 11(2). Pp. 51–58.
12. *Paivanen J., Sarkkola S.* The Effect of Thinning and Ditch Network Maintenance on the Water Table Level in a Scots Pine Stand on Peat Soil // Suo. 2000. Vol. 51(3). Pp. 131–138.
13. *Rikala J.* Spruce and Pine on Drained Peatlands: Wood Quality and Suitability for the Sawmill Industry: Diss. Helsinki, 2003. 147 p.
14. *Varhimo A., Kojola S., Penttilä T., Laiho R.* Quality and Yield of Pulpwood in Drained Peatland Forests: Pulpwood Properties of Scots Pine in Stands of First Commercial Thinnings // Silva Fennica. 2003. Vol. 37(3). Pp. 343–357.

15. Westman C.J., Laiho R. Nutrient Dynamics of Drained Peatland Forests // Biogeochemistry. 2003. Vol. 63, iss. 3. Pp. 269–298.

Поступила 06.03.18

UDC 630*242:630*116

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.70

The Results of Thinning on Drain Lands of the Vologda Region

E.A. Marinichev, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, pr. Gagarina, 97, Nizhny Novgorod, 603107, Russian Federation; e-mail: dobr2000@rambler.ru

Swamp forests and marsh lands of the forest hydromelioration fund of the Vologda region occupy an area of 1,014,400 hectares; 742,100 ha are concentrated on forest-covered lands. The use of a complex of forest management measures – drainage, improvement cutting, felling of mature and over-mature stands – can increase the productivity of excessively moistened forests. The experience of integrated forest management is necessary for the scientific substantiation of the use of certain methods of cutting on drained peat soils. The issues of the formation of optimal species and age composition of stands on drained lands by means of a certain felling system in the region deserve attention. The goal of research is to identify optimal conditions for thinning in middle-aged pine forests on drained lands that ensure the cultivation of sustainable productive forest plantations. The experimental material is collected at stationary facilities of the Vologda region; the research results in pine forests on the soils of mesotrophic and oligomesotrophic types of waterlogging are summarized; conclusions and practical recommendations are presented. Morphometric parameters of stands are determined on trial plots. The processing of dynamic replications of inventory on trial plots with numbering is carried out by dividing the forest into fixed steps and revealing the growth dynamics for them. More highly productive plantations can be grown in conditions of increased moisture in the Vologda region. Scientifically grounded thinning should be marked among the measures for forest management intensification. A controlled process of thinning will allow stabilizing the structure of the forest fund and increasing the productivity of plantations. The thinning process is of great importance in the plantations that have been drained, due to the intensification of attrition and differentiation of trees. The improvement of plantation stand indicators on drained peat soils is possible only with the use of high-intensity thinning.

Keywords: drainage, waterlogging, thinning, silvicultural efficiency, improvement cutting.

REFERENCES

1. Artem'yev A.I., Druzhinin N.A., Khudyakov V.V., Bogolepov V.G., Nileyko L.S. *Rekomendatsii po vedeniyu lesnogo khozyaystva v osushayemykh lesakh Evropeyskogo Severa* [Recommendations on Forest Management in Drained Forests of the European North]. Arkhangelsk, Arkhangelsk Institute of Forest and Wood Chemistry Publ., 1991. 23 p. (In Russ.)
2. Vernodubenko V.S., Druzhinin N.A. Osobennosti formirovaniya ranney i pozdney drevesiny sosny na torfyanykh pochvakh [Formation of Early and Late Pine Wood on Peat Soils]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2014, no. 1, pp. 54–61.

For citation: Marinichev E.A. The Results of Thinning on Drain Lands of the Vologda Region. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2018, no. 4, pp. 70–78. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.70

3. Druzhinin N.A. *Lesovodstvenno-ekologicheskoye obosnovaniye vedeniya lesnogo khozyaystva v osushayemykh lesakh*: dis. ... d-ra s.-kh. nauk [Forest Management and Environmental Justification for Forestry in Drained Forests: Dr. Agric. Sci. Diss.]. Saint Petersburg, 2006. 348 p.
4. Zagural'skaya L.M. Eksperimental'noye izucheniye biologicheskoy aktivnosti torfyanykh pochv Karelii [Experimental Study of the Biological Activity of Peat Soils in Karelia]. *Eksperiment i matematicheskoye modelirovaniye v izuchenii biogeotsenozov lesov i bolot: tez. dokl. Vsesoyuz. sov., 4–6 avg. 1987 g., g. Zap. Dvina, Kalininskaya obl.* [Experiment and Mathematical Modeling in the Study of Biogeocenoses of Forests and Marshes: Proc. All-Union Conf. August 4–6, 1987, Zapadnaya Dvina, Kalinin Region]. Moscow, 1987, pp. 23–26. (In Russ.)
5. Kollist P.I. Nekotoryye dannyye o lesorastitel'nykh usloviyakh na osushennykh perekhodnykh bolotakh [Some Data on Forest Conditions on Drained Transitional Bogs]. *Trudy Instituta lesa AN SSSR* [Proceedings of the Forest Institute of the USSR Academy of Sciences], 1959, vol. 49, pp. 19–26.
6. Komin G.E. Tsiklichnost' lesoobrazovatel'nogo protsessa [The Repeating Pattern of the Forest Formation Process]. *Teoriya lesoobrazovatel'nogo protsessa: tez. dokl. Vsesoyuz. soveshch., 19–21 noyab. 1991 g., g. Krasnoyarsk* [Theory of the Forest Formation Process: Proc. All-Union Conf., November 19–21, 1991, Krasnoyarsk]. Krasnoyarsk, V.N. Sukachev Institute of Forest of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences Publ., 1991, pp. 71–72. (In Russ.)
7. Konstantinov V.K. *Ekspluatatsiya lesoosushitel'nykh sistem: monogr.* [Operation of Forest Drainage Systems]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1979. 152 p. (In Russ.)
8. Smirnov A.P. *Lesorastitel'nyy potentsial osushennykh torfyano-bolotnykh pochv i ego ratsional'noye ispol'zovaniye*: dis. ... d-ra s.-kh. nauk [Forest-site Potential of Drained Peat-Bog Soils and Its Rational Use: Dr. Agric. Sci. Diss.]. Saint Petersburg, 2003. 331 p.
9. Huuskonen S., Ahtikoski A. Ensiharvennuksen ajoituksen ja voimakkuuden vaikutus kuivahkon kankaan männiköiden tuotokseen ja tuottoon [Impact of Timing and Intensity of the First Thinning on the Yield and Profitability of Dryish Heath Pine Stands]. *Metsätieteen aikakauskirja*, 2005, no. 2, pp. 99–115.
10. Jutras S., Plamondon A.P. Water Table Rise after Harvesting in a Treed Fen Previously Drained for Forestry. *Suo*, 2005, vol. 56(3), pp. 95–100
11. Kojola S., Penttilä T., Laiho R. First Commercial Thinnings in Peatland Pine Stands: Effect of Timing on Fellings and Removals. *Baltic Forestry*, 2005, vol. 11(2), pp. 51–58.
12. Paivanen J., Sarkkola S. The Effect of Thinning and Ditch Network Maintenance on the Water Table Level in a Scots Pine Stand on Peat Soil. *Suo*, 2000, vol. 51(3), pp. 131–138.
13. Rikala J. *Spruce and Pine on Drained Peatlands: Wood Quality and Suitability for the Sawmill Industry*: Diss. Helsinki, 2003. 147 p.
14. Varhimo A., Kojola S., Penttilä T., Laiho R. Quality and Yield of Pulpwood in Drained Peatland Forests: Pulpwood Properties of Scots pine in Stands of First Commercial Thinnings. *Silva Fennica*, 2003, vol. 37(3), pp. 343–357.
15. Westman C.J., Laiho R. Nutrient Dynamics of Drained Peatland Forests. *Biogeochemistry*, 2003, vol. 63, iss. 3, pp. 269–298.

Received on March 06, 2018

УДК 630*839

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.79

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАПАСОВ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ ИЗ КРОН
НА ТЕРРИТОРИИ ЛЕСНОГО ФОНДА НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ****Л.М. Гусева, канд. с.-х. наук*

Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, просп. Гагарина, д. 97, г. Нижний Новгород, Россия, 603107; e-mail gusevakontorina@mail.ru

В настоящий момент в лесном секторе России сложилась ситуация недостаточно эффективного использования древесной биомассы имеющегося лесоэксплуатационного фонда. Наиболее острая проблема – это накопление запасов древесных отходов. Колоссальные ресурсы таких отходов, препятствуя реформированию лиственных насаждений в более ценные – хвойные, повышают пожарную опасность, создают базу для развития фитозаболеваний и энтомофитовредителей, расходуют в процессе перегнивания значительное количество атмосферного кислорода. Данная проблема может быть решена с привлечением термохимической переработки этого вида древесных отходов, но чаще всего она является экономически нецелесообразным направлением утилизации. Однако при переработке древесной массы из кроны можно получить много ценных конкурентоспособных продуктов, что экономически выгодно для лесохозяйственных и деревоперерабатывающих предприятий и компаний Нижегородской области. Глубина и направления переработки древесной массы имеют важное не только региональное, но и национальное значение. Цель исследования – оценка запасов древесных отходов из кроны, образующихся в результате проведения рубок в лесах Нижегородской области. Исследование осуществлялось по общепринятым методикам для лесоводственных и таксационных работ. В качестве объектов исследования служили ключевые участки леса районных и межрайонных лесничеств Нижегородской области. Для установления запасов древесных отходов на участках было заложено 78 пробных площадей. Установлено распределение ресурсного потенциала древесных отходов по лесохозяйственным районам лесного фонда области: максимальный ресурс формируется на территории Приветлужского елово-пихтового лесохозяйственного района – 209,88 тыс. м³; в Сосново-широколиственном он составляет 157,32 тыс. м³, в Приволжском – 130,35 тыс. м³; минимальный ресурс сосредоточен в Широколиственном – 91,80 тыс. м³. Сведения, полученные о ресурсном потенциале древесных отходов из кроны, позволят организовать производственные мощности по их переработке. Материалы исследований могут послужить основой при проведении лесоустройства на территории Нижегородской области.

Ключевые слова: древесные отходы, крона дерева, ресурсный потенциал отходов, зонирование территории, термохимическая переработка, лесохозяйственный район, ключевое лесничество.

Введение

Одной из важнейших задач, стоящих перед лесным хозяйством и лесной промышленностью, является полное и рациональное использование отходов,

*Статья подготовлена по материалам международного симпозиума «Лесное хозяйство: интеграция и вклад в развитие сельских территорий» (15–16 мая 2018 г., г. Нижний Новгород).

Для цитирования: Гусева Л.М. Распределение запасов древесных отходов из кроны на территории лесного фонда Нижегородской области // Лесн. журн. 2018. № 4. С. 79–86. (Иzv. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.79

образующихся при лесозаготовках и деревопереработке [1]. Россия – крупнейшая лесная держава – значительно отстает от других стран по основным экономическим и техническим показателям использования леса и производству продукции из древесины [5]. Следует отметить, что древесная биомасса – это природный ресурс многоцелевого назначения [6].

Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации на период до 2020 г. предполагает развитие мощностей по глубокой механической, химической и энергетической переработке древесины [11].

Рост цен на мазут и газ, проблемы с доставкой каменного угля, появление полностью механизированных топок для сжигания высоковлажного и гранулированного древесного топлива требуют пересмотра топливной политики в сельской энергетике в сторону широкого применения древесных отходов в местах их образования [9].

Использование отходов лесозаготовок, лесопиления и деревообработки является одной из наиболее серьезных и пока нерешенных задач, стоящих перед лесным комплексом [14]. Огромные объемы брошенных лесосечных древесных отходов требуют увеличения способов их утилизации: комбинированная выработка тепло- и электроэнергии на мини-ТЭЦ; получение генераторного газа, древесного угля, жидкого биотоплива; энергохимическая переработка и др. [9].

Управление процессами образования, накопления и переработки отходов – важнейшее звено в обеспечении экологической безопасности, влияющей на экономическое и социальное развитие регионов России [10]. Максимальное вовлечение лесосечных отходов в производство перечисленных выше продуктов, в том числе и биотоплива, соответствует принципам устойчивого лесопользования, развития энергетики на возобновляемом топливе [15, 16].

Использование древесных отходов отличается высокой коммерческой привлекательностью и быстрой окупаемостью инвестиций, ориентировано на применение современных форм организации и интеграции лесного бизнеса [7], а также обеспечивает устойчивое управление лесным фондом [3].

На сегодняшний день в лесах Нижегородской области, на территории лесного фонда, в результате проведения рубок спелых и перестойных древостоев и рубок ухода образуется большое количество древесных отходов из крон. Наиболее актуальными направлениями их использования являются производство тепло- и электроэнергии, различных древесных и активных углей, топливных гранул и брикетов.

Цель исследования – оценка ресурсного потенциала древесных отходов из крон основных лесобразующих пород с учетом проводимого вида рубок и на основе таксационных показателей деревьев и древостоев.

Объекты и методы исследования

Для оценки и анализа «сырьевого ресурса» древесных отходов, образующихся в результате рубок спелых и перестойных древостоев и рубок ухода, на территории Нижегородской области с учетом лесохозяйственного районирования (приказы Министерства природных ресурсов РФ (2007 г.), Министерства сельского хозяйства РФ (2009 г.), Рослесхоза (2011 г.)) выбирались районные лесничества, считавшиеся в дальнейшем ключевыми участками. При этом учитывались их территориальная доступность и экономические показатели.

Все исследования проводились по апробированным методикам Сукачева, Зонна (1957, 1961); Мотовилова (1957); Побединского (1966); Молчанова (1971); Смирнова (1967); Анучина (1982, 2002) и с учетом требований Лесоустроительной инструкции по таксации лесов (приказы Министерства природных ресурсов РФ № 31 от 06.02.2008 г., Федерального агентства лесного хозяйства № 516 от 12.12.2011 г., Министерства природных ресурсов РФ № 55 от 03.02.2017 г. «Об утверждении Лесоустроительной инструкции»).

Для получения сведений о запасе древесины применялся выборочный метод, предполагающий закладку серии пробных площадей, которые должны быть репрезентативными, т. е. располагаться в типичных для насаждений условиях. В этом случае они могут характеризовать совокупность насаждений, однородных по определенным эдафическим и таксационным признакам [11, 13].

На отведенных под рубку лесосеках закладывались временные пробные площади, на которых производились сплошной пересчет деревьев [12] и сплошной обмер их крон. Подбор, закладка, обработка и натурное оформление производились согласно ОСТ 56-69-83 [8].

Для расчета запаса крон на лесосеке использовались данные сплошного пересчета на пробных площадях и нормативы объемов сучьев и вершин в зависимости от диаметра дерева на высоте 1,3 м и разряда древостоев.

Зонирование территории Нижегородской области по ресурсам древесных отходов основывалось на расчетных данных о их запасах на 1 га лесных насаждений, о породах лесохозяйственных районов и видах проводимых рубок.

Результаты исследования и их обсуждение

Обследовались все отведенные лесосеки ключевых лесничеств в учетном периоде. На этих лесосеках производился сплошной пересчет деревьев и определялись таксационные показатели: средние диаметр и высота, состав насаждения. По соотношению диаметра и высоты с использованием Лесотаксационного справочника [4] и нормативов [2] устанавливались разряды высот для всех составляющих пород древостоя, с учетом породного состава, разряда высот, запаса низкотоварной древесины на 1 га насаждения – ресурсный потенциал такой древесины на отведенных лесосеках.

В табл. 1 и 2 представлены запасы древесных отходов, полученных в результате проведения рубок спелых и перестойных насаждений, а также различных видов рубок ухода, с учетом основных лесобразующих пород на ключевых участках Уренского районного лесничества Нижегородской области.

Аналогичные данные были получены для всех исследуемых районных лесничеств Нижегородской области.

Данные по ключевым участкам районных лесничеств позволили сделать вывод о различиях в распределении запаса древесных отходов из крон по породам, что обусловлено произрастанием древостоев, отведенных в различные виды рубок, в разных лесорастительных зонах Нижегородской области.

В зависимости от способа рубок с 1 га лесных насаждений в виде отходов можно получить от 5 до 13 м³ древесины, пригодной для различных направлений переработки.

Таблица 1

**Запас древесных отходов (тыс. м³/га) от рубок спелых
и перестойных насаждений**

Лесообразующая порода	Вид рубок	Запас древесных отходов
Сосна	Сплошнолесосечные	2,78
Ель		1,90
Береза		3,18
Осина		1,69
Ольха черная		0,01
Ольха серая		0,01
Дуб		0,01
<i>Итого</i>		9,58
Сосна	Выборочные	0,10
Осина		0,01
<i>Итого</i>		0,11
<i>Всего</i>		9,69

Таблица 2

**Запас древесных отходов (тыс. м³/га) лесных насаждений,
пройденных различными видами рубок ухода**

Лесообразующая порода	Осветление	Прочистка	Прореживание	Проходные	Всего
Сосна	0,44	0,32	0,07	0,51	1,27
Береза	0,23	0,34	–	0,14	0,71
Осина	0,10	0,10	–	–	0,20
<i>Итого</i>	0,77	0,76	0,07	0,65	2,18

Полученные результаты и нормативные данные о количестве древесных отходов явились информационным материалом для оценки их ресурсной емкости в целом по лесохозяйственным районам области.

Для формирования сведений о ресурсе древесных отходов произведена его оценка для каждого входящего в лесохозяйственный район районного (межрайонного) лесничества с учетом вида рубок. В табл. 3 информация о запасе древесных отходов представлена на примере Приветлужского елово-пихтового лесохозяйственного района, а в табл. 4 – сгруппирована по лесохозяйственным районам области.

Таблица 3

Запас древесных отходов (тыс. м³/га) от различных видов рубок

Районное лесничество	Рубки спелых и перестойных древостоев	Рубки ухода за лесом
Пижменское	23,62	9,68
Уренское	9,69	2,27
Ветлужское	15,38	7,80
Варнавинское	19,67	3,58
Шахунское	17,33	7,10
Краснобаковское	19,83	6,29
Тонкинское	6,71	1,83
Воскресенское	27,94	18,33
Шарангское	8,74	4,09
<i>Итого</i>	148,91	60,97

Таблица 4

Ресурсный потенциал древесных отходов на территории Нижегородской области с учетом лесохозяйственных районов и проводимых рубок

Лесохозяйственный район	Запас древесных отходов, тыс. м ³ /га, по породам								Всего
	Сосна	Ель	Береза	Осина	Липа	Ольха черная	Ольха серая	Дуб	
<i>Рубки спелых и перестойных насаждений</i>									
Приветлужский елово-пихтовый	42,45	24,21	57,00	22,33	–	0,67	0,14	2,11	148,91
Приволжский	42,38	5,95	31,05	14,38	–	0,29	–	0,25	94,30
Сосново-широколиственный	50,50	1,76	34,77	14,45	0,39	0,56	–	0,51	102,94
Широколиственный	12,12	1,82	17,00	28,13	1,78	0,40	–	5,20	66,45
<i>Рубки ухода</i>									
Приветлужский елово-пихтовый	28,22	3,31	27,60	1,79	0,05	–	–	–	60,97
Приволжский	12,92	0,83	21,74	0,52	0,04	–	–	–	36,05
Сосново-широколиственный	21,90	0,74	30,33	1,21	0,20	–	–	–	54,38
Широколиственный	9,72	0,32	11,53	2,33	1,45	–	–	–	25,35

Анализ данных табл. 4 показал, что максимальный ресурс древесных отходов формируется на территории Приветлужского елово-пихтового лесохозяйственного района, далее следуют Сосново-широколиственный лесохозяйственный район, Приволжский лесохозяйственный район, самый минимальный ресурс находится в Широколиственном лесохозяйственном районе области.

Заключение

В целом древесные отходы, полученные в результате проведения различных видов рубок в лесном фонде Нижегородской области, могут быть успешно использованы для перспективных направлений переработки, в том числе и термохимической, с получением таких высокоценных продуктов, как древесный уголь, древесноугольные брикеты, активированный уголь, древесные брикеты, коптильные препараты, бетулинол, генераторный газ и др. Это особенно актуально в условиях сокращения запасов невозобновляемых природных ископаемых.

С учетом пространственного распределения запасов древесных отходов по территории лесного фонда области в дальнейшем можно рационально разместить соответствующие производственные мощности по их переработке.

Данные о запасах древесных отходов могут лечь в основу планирования направлений развития лесных территорий. Полученные результаты могут быть использованы для повышения эффективности разработки проектов освоения лесов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусева Л.М. Оценка взаимосвязи полноты древостоя и запаса низкокачественной древесины, образующейся на лесосеках в результате рубок главного пользования и рубок ухода за лесом // Изв. Оренбург. гос. аграр. ун-та. 2009. № 1. С. 40–42.
2. Загребев В.В., Сухих В.И., Швиденко А.З., Гусев Н.Н., Мошкалев А.Г. Общесоюзные нормативы для таксации лесов: справ. М.: Колос, 1992. 495 с.
3. Карпачевский М.Л., Тепляков В.К., Яницкая Т.О., Ярошенко А.Ю., Белякова А.В., Брюханов А.В., Букварева А.Н., Конюшатов О.А., Корчагов С.А., Кулясова А.А., Петров А.П., Рай Е.А., Шматков Н.М. Основы устойчивого лесоуправления / под общ. ред. А.В. Беляковой, Н.М. Шматкова; Всемирный фонд дикой природы (WWF). 2-е изд., перераб. и доп. М.: WWF России, 2014. 266 с.
4. Лесотаксационный справочник / сост. А.И. Старцев, Н.З. Боровиков, Л.М. Гусева. 2-е изд., перераб. и доп. Н. Новгород: НГСХА, 2014. 64 с.
5. Лукаш А.А., Лукутцова Н.П. Дифференцирование способов переработки древесины с ядровой гнилью // Лесн. журн. 2017. № 3. С. 143–151. (Изв. высш. учеб. заведений).
6. Максимук Ю.В., Пономарев Д.А., Курсевич В.Н., Фесько В.В. Теплота сгорания древесного топлива // Лесн. журн. 2017. № 4. С. 116–129. (Изв. высш. учеб. заведений).
7. Михайлов К.Л., Гуцин В.А., Тараканов А.М. Организация сбора и переработки лесосечных отходов и дров на лесосеке // Лесн. журн. 2016. № 6. С. 98–109. (Изв. высш. учеб. заведений).
8. ОСТ 56-69-83. Пробные площади лесоустроительные. Метод закладки. М., 1983. 60 с.
9. Пиир А.Э., Мелехов В.И., Кунтыш В.Б. Выбор древесного топлива для малой энергетики // Лесн. журн. 2014. № 1. С. 101–108. (Изв. высш. учеб. заведений).
10. Романенко К.А., Богданович Н.И., Канарский А.В. Получение активных углей пиролизом гидролизного лигнина // Лесн. журн. 2017. № 4. С. 162–171. (Изв. высш. учеб. заведений).
11. Торопов А.С., Торопов С.А., Микрюкова Е.В. Исследование пораженности древесины напенной гнилью // Лесн. журн. 2009. № 4. С. 95–100. (Изв. высш. учеб. заведений).
12. Усольцев В.А. Рост и структура фитомассы древостоев. Новосибирск: Наука, 1988. 254 с.
13. Ушаков А.И. Лесная таксация и лесоустройство. М.: Изд-во МГУЛ, 1997. 192 с.
14. Bridgwater A.V. Renewable Fuels and Chemicals by Thermal Processing of Biomass // Chemical Engineering Journal. 2003. No. 91, iss. 2-3. Pp. 87–102.
15. Helmisaari H.S., Hanssen K.H., Jacobson S., Kukkola M., Luiro J., Saarsalmi A., Tamminen P., Tveite B. Logging Residue Removal after Thinning in Nordic Boreal Forests: Long-Term Impact on Tree Growth // Forest Ecology and Management. 2011. Vol. 261, iss. 11. Pp. 1919–1927.
16. Victor D., Yueh L. The New Energy Order // Foreign Affairs. 2010. Vol. 89, no. 1. Pp. 61–73.

Поступила 06.03.18

UDC 630*839

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.79

Distribution of Reserves of Wood Waste from Crowns in the Forest Fund of the Nizhny Novgorod Region*L.M. Guseva, Candidate of Agricultural Sciences*

Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, pr. Gagarina, 97, Nizhny Novgorod, 603107, Russian Federation; e-mail: gusevakontorina@mail.ru

At the moment, we observe a situation of underutilization of woody biomass of the existing forest exploitation fund in the forestry sector of Russia. The key problem is the accumulation of wood waste. Vast resources of such wastes prevent the transformation of deciduous plantations into more valuable ones – conifers, increase the fire hazard, create a base for the development of phyto-diseases and harmful insects, and expend a considerable amount of atmospheric oxygen in the process of decay. This problem can be solved with the use of thermochemical treatment of this type of wood waste. More often, this issue is an economically unviable approach of utilization. When processing wood pulp from crowns, many rival products can be obtained, which is profitable for forestry and wood processing enterprises in the Nizhny Novgorod region. The depth and direction of wood pulp processing are of great regional and national importance. The goal of research is to estimate the stock of wood waste from crowns, resulting cutting in forests of the Nizhny Novgorod region. The studies are carried out according to accepted methods for silvicultural and taxation works. The targets of research are the forest key areas of district and interdistrict forestries of the Nizhny Novgorod region. 78 sample plots are laid to determine the amount of wood waste in key areas. The distribution of the resource potential of wood waste in the forestry areas of the Nizhny Novgorod region is established: the maximum resource is formed in the territory of the Privetluzhskiy spruce and fir forest area – 209.88 thousand m³; in the pine and broadleaved forest area – 157.32 thousand m³; in the Privolzhskiy forest area – 130.35 thousand m³. The minimum resource is concentrated in the broadleaved forest area – 91.80 thousand m³. The information received about the resource potential of wood waste from crowns, will allow organizing production capacity for their processing. Research materials can serve as a basis for forest inventory in the territory of the Nizhny Novgorod region.

Keywords: wood waste, tree crown, resource potential of waste, zoning, thermochemical processing, forest area, key forest district.

REFERENCES

1. Guseva L.M. Otsenka vzaimosvyazi polnoty drevostoya i zapasa nizkokachestvennoy drevesiny, obrazuyushchey na lesosekakh v rezul'tate rubok glavnogo pol'zovaniya i rubok ukhoda za lesom [Interconnection between the Forest Stand Density and the Reserves of Low Quality Xylem Accumulated on the Glades as Result of Final and Improvement Cuttings]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Izvestia of Orenburg State Agrarian University], 2009, vol. 1, no. 21, pp. 40–41.
2. Zagreyev V.V., Sukhikh V.I., Shvidenko A.Z., Gusev N.N., Moshkalev A.G. *Obshchesoyuznyye normativy dlya taksatsii lesov: sprav.* [All-Union Standards for Forest Inventory]. Moscow, Kolos Publ., 1992. 495 p. (In Russ.)
3. Karpachevskiy M.L., Teplyakov V.K., Yanitskaya T.O., Yaroshenko A.Yu., Belyakova A.V., Bryukhanov A.V., Bukvareva A.N., Konyushatov O.A., Korchagov S.A., Kulyasova A.A., Petrov A.P., Ray E.A., Shmatkov N.M. *Osnovy ustoychivogo lesoupravleniya* [Fundamentals of Sustainable Forest Management]. Moscow, WWF Rossii Publ., 2014. 266 p. (In Russ.)

For citation: Guseva L.M. Distribution of Reserves of Wood Waste from Crowns in the Forest Fund of the Nizhny Novgorod Region. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2018, no. 4, pp. 79–86. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.79

4. Startsev A.I., Borovikov N.Z., Guseva L.M., eds. *Lesotaksatsionnyy spravochnik* [Forest Mensuration Handbook]. N. Novgorod, NNSAA Publ., 2014. 64 p. (In Russ.)
5. Lukash A.A., Lukutsova N.P. Differentsirovaniye sposobov pererabotki drevesiny s yadrovoy gnil'yu [Differentiation of Processing Methods of Pumped Wood]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 3, pp. 143–151.
6. Maksimuk Yu.V., Ponomarev D.A., Kursevich V.N., Fes'ko V.V. Teplota sgoraniya drevesnogo topliva [Calorific Value of Wood Fuel]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 4, pp. 116–129.
7. Mikhaylov K.L., Gushchin V.A., Tarakanov A.M. Organizatsiya sbora i pere-rabotki lesosechnykh otkhodov i drov na lesoseke [Collection and Processing of Logging Residual and Firewood in a Felling Area]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2016, no. 6, pp. 98–109.
8. OST 56-69–83. *Probnyye ploshchadi lesoustroitel'nyye. Metod zakladki* [Industrial Standard 56-69–83. Inventory Sample Plots. Coupe Demarcation Method]. Moscow, 1983. 60 p.
9. Piir A.E., Melekhov V.I., Kuntyshev V.B. Vybor drevesnogo topliva dlya maloy en-ergetiki [Choice of Wood Fuel for Small-Scale Power Generation]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2014, no. 1, pp. 101–108.
10. Romanenko K.A., Bogdanovich N.I., Kanarskiy A.V. Polucheniye aktivnykh ugley pirolizom gidroliznogo lignina [Obtaining of Activated Carbons by Pyrolysis of Hydrolytic Lignin]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 4, pp. 162–171.
11. Toropov A.S., Toropov S.A., Mikryukova E.V. Issledovaniye porazhennosti drevesiny napennoy gnil'yu [Investigation of Wood Affected by Stump Rot]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2009, no. 4, pp. 95–100.
12. Usol'tsev V.A. *Rost i struktura fitomassy drevostoyev* [Growth and Structure of Plant Phytomass]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1988. 254 p. (In Russ.)
13. Ushakov A.I. *Lesnaya taksatsiya i lesoustroystvo* [Forest Taxation and Forest Management]. Moscow, MSFU Publ., 1997. 192 p. (In Russ.)
14. Bridgwater A.V. Renewable Fuels and Chemicals by Thermal Processing of Biomass. *Chemical Engineering Journal*, 2003, no. 91, iss. 2-3, pp. 87–102.
15. Helmisaari H.S., Hanssen K.H., Jacobson S., Kukkola M., Luiro J., Saarsalmi A., Tamminen P., Tveite B. Logging Residue Removal after Thinning in Nordic Boreal Forests: Long-Term Impact on Tree Growth. *Forest Ecology and Management*, 2011, vol. 261, iss. 11, pp. 1919–1927.
16. Victor D., Yueh L. The New Energy Order. *Foreign Affairs*, 2010, vol. 89, no. 1, pp. 61–73.

Received on March 06, 2018



УДК 630*375.4+630*243

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.87

ПРИМЕНЕНИЕ ПРИРОДОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ПРОХОДНЫХ РУБКАХ В УРАЛЬСКОМ УЧЕБНОМ ОПЫТНОМ ЛЕСХОЗЕ УГЛТУ*

Н.Н. Теринов, д-р с.-х. наук, вед. науч. сотр.

Э.Ф. Герц, д-р техн. наук, проф.

А.В. Мехренцев, канд. техн. наук, проф.

Уральский государственный лесотехнический университет, Сибирский тракт, д. 37,
г. Екатеринбург, Россия, 620100; e-mail: n_n_terinov@mail.ru, gerz.e@mail.ru,
mehrentsev@yandex.ru

В статье рассмотрен опыт проведения проходной рубки с использованием на трелевке леса мини-трактора, который оборудован водительским местом, укомплектован барабанной лебедкой (длина троса 20 м) и тележкой, предназначенной для транспортировки сортиментов длиной 2...6 м. Работы проводились в высокополнотном чистом средневозрастном сосняке. Площадь лесосеки – 1,8 га. Участок характеризуется сложным микрорельефом и развитой дорожно-тропиночной сетью. Запланированная интенсивность рубки – 12,0 % от исходного запаса древостоя, фактическая – 13,3 %, что соответствует параметрам выборочной рубки слабой интенсивности. Расстояние трелевки заготовленной древесины в виде сортиментов в среднем составляло 30 м. Весь комплекс работ от валки до трелевки заготовленной древесины и уборки порубочных остатков осуществлялся одним человеком. Применялась безопасная технология разработки лесосеки. Исследовались два варианта заготовки древесины: первый предусматривал загрузку одного разрезанного ствола дерева, вершины и крупных ветвей на тележку и их транспортировку к месту погрузки; второй – поочередное перемещение сортиментов лебедкой мини-трактора к месту погрузки. Установлено, что общие затраты времени, необходимые на заготовку одного дерева, в среднем 21...22 мин, на сбор и складирование порубочных остатков – дополнительно 2...10 мин. В обоих вариантах заготовки при основном количестве вырубаемых деревьев с диаметром на высоте груди 12...16 см производительность мини-трактора на трелевке ликвидной древесины составила 0,5 м³/ч. При увеличении диаметра вырубаемых деревьев до 28...30 см производительность мини-трактора повысилась до 1,1 м³/ч. Высказано предположение, что производительность мини-трактора может быть увеличена за счет сокращения пешеходов оператора, что достигается установкой системы дистанционного управления лебедкой. Первый вариант с трелевкой только одного ствола с кроной наиболее предпочтителен при очень слабой и слабой интенсивности выборочной рубки, безопасной техноло-

*Выполнение исследования поддержано внутривузовским грантом Уральского государственного лесотехнического университета.

Для цитирования: Теринов Н.Н., Герц Э.Ф., Мехренцев А.В. Применение природосберегающих технологий на проходных рубках в Уральском учебном опытном лесхозе УГЛТУ // Лесн. журн. 2018. № 4. С. 87–96. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.87

гии разработки лесосеки и диаметре вырубаемых деревьев на высоте груди не ниже 20 см. Вторым вариантом, когда мини-трактор используется в качестве самоходной лебедки, имеет смысл, если расстояние трелевки не превышает 15...20 м, т. е. имеется ограничение по длине троса лебедки. Установлено, что наименее продолжительной операцией технологического процесса является валка дерева, самой продолжительной – погрузка сортиментов, вершины и крупных ветвей дерева на тракторную тележку. На них расходуется соответственно 5,6 и 39,4 % от общих затрат времени. На операции, связанные только с работой мини-трактора (холостой ход, погрузка, грузовой ход и разгрузка), приходится 78,0 % .

Ключевые слова: проходные рубки, мини-трактор, трелевка леса, производительность.

Введение

Одним из сдерживающих факторов, препятствующих проведению рубок ухода в средневозрастных и рубок переформирования в приспевающих древостоях в полном объеме, является отсутствие специализированного оборудования на лесных предприятиях. Примером такого оборудования могут служить трелевочные мини-тракторы, получившие широкое распространение в зарубежных странах [3, 5–9]. Их роль в сохранении природной среды сложно переоценить [11]. По нашему мнению, в ближайшей перспективе подобное оборудование найдет свое применение в России, и в первую очередь в защитных лесах. Со своей стороны Уральский государственный лесотехнический университет (УГЛТУ) принимает активное участие в популяризации природосберегающих технологий, включая данную тематику в программы выставок, семинаров, образовательной деятельности и научных исследований. Наряду с первоочередным решением экологических задач необходимо помнить и об экономической составляющей. В отечественной научной литературе довольно скудно освещен вопрос об установлении производительности мини-тракторов в конкретных производственных условиях. Данные такого характера при планировании и проведении хозяйственных мероприятий помогут использовать эту технику с максимальным эффектом [10]. Цель исследования – определение производительности мини-трактора в разных режимах работы на проходных рубках.

Объекты и методы исследования

Исследования с применением природосберегающих технологий проводились на территории Уральского учебного опытного лесхоза, являющегося структурным подразделением УГЛТУ. Объект исследования – участок в 85-летнем высокобонитетном, высокополнотном сосняке ягодниковом, расположенном в квартале 38, выделе 23 участка Северский Билимбаевского лесничества, отведенный под выборочную (проходную) рубку. Площадь лесосеки составляла 1,8 га. Участок характеризуется значительным количеством микроповышений и микропонижений, имеющих искусственное происхождение, и развитой дорожно-тропиночной сетью. Запланированная интенсивность рубки – 12 % от исходного запаса древостоя. На всей площади лесосеки был произведен сплошной пересчет деревьев, измерены высоты у 56 модельных деревьев сосен и у 25 берез. Подрост определялся методом круговых площадок радиусом 1,78 м. На них фиксировалась древесная порода и ее вы-

сота. Всего заложено 120 учетных площадок общей площадью 0,012 га. Данные измерений использовались для уточнения таксационной характеристики древостоя. Проходная рубка осуществлялась с помощью бензодвигательной пилы «Stihl-250». При трелевке заготовленной древесины использовался лабораторный образец мини-трактора МТР-1 (рис. 1), созданный при участии сотрудников УГЛТУ. На мини-трактор установлен четырехтактный двигатель мощностью 7 л. с. Механизм оборудован водительским местом и укомплектован технологическим оборудованием, включающим лебедку (длина троса 20 м) и тележку, предназначенную для транспортировки сортиментов длиной 2...6 м. Масса мини-трактора около 300 кг создает удельное давление на почву не более 0,15 кг/см². Промышленные испытания мини-трактора при проведении выборочной санитарной рубки показали удовлетворительные результаты с точки зрения сохранения природной среды [4].



Рис. 1. Лабораторный образец мини-трактора МТР-1

В нашем эксперименте весь комплекс работ от валки (включая отбор деревьев и их назначение в рубку) до складирования сортиментов и порубочных остатков осуществлял 1 рабочий. Деловая древесина раскряжевывалась на сортименты длиной 3 и 6 м, дровяная – на отрезки по 4 м. Работа была организована таким образом, чтобы вся древесина одного дерева, включая лесосечные отходы (вершину и крупные сучья), загружалась на тележку мини-трактора для транспортировки к месту складирования. Трактор перемещался по площади лесосеки, маневрируя между деревьями, оставляемыми на доращивание, и жизнеспособным подростом.

Развитая дорожно-тропиночная сеть на лесосеке и ее примыкание к имеющимся лесным дорогам позволили реализовать вариант перемещения заготовленной древесины на расстояние, не превышающее длину троса лебедки, смонтированной на мини-тракторе. В таком случае мини-трактор устанавливался на дороге, а 6-метровые сортименты подтягивались тросом лебедки

из достигаемой части лесосеки и укладывались в штабель. При этом предполагалось, что выпадение операций погрузки сортиментов на тележку, их транспортировки и разгрузки позволит ускорить процесс лесозаготовки.

Хронометрические наблюдения по заготовке древесины с использованием мини-трактора МТР-1 проводились по операциям, которые включали в себя отбор деревьев в рубку и их валку, раскряжевку и обрезку сучьев, погрузку, транспортировку, разгрузку заготовленных сортиментов и складирование порубочных остатков в кучи.

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе проведенной работы была уточнена таксационная характеристика древостоя, она ожидаемо отличается от данных последнего лесоустройства 2003 г. (табл. 1).

Таблица 1

Сравнение таксационных характеристик древостоя до рубки по данным лесоустройства с фактически установленными в сосняке ягодниковом (Билимбаевское лесничество, участок Северский, квартал 38, выдел 23)

Показатель	Данные лесоустройства 2003 г.	Установленные в 2016 г. характеристики
Состав	8С2Б+С	9С1Б, ед. Е, Ос
Средняя высота, м	21	25
Средний диаметр, см	22	24
Полнота:		
относительная	0,80	0,95
абсолютная, м ² /га	–	32,3
Класс бонитета	I	I
Запас, м ³ /га	330	365
Подрост и самосев:		
состав	–	6Е4С
высота (ель/сосна), м	–	2,0/0,2
возраст (ель/сосна), лет	–	30/3
количество, тыс. экз./га	–	0,5

Изменения среднего диаметра, высоты и полноты древостоя, произошедшие за 12 лет, привели к увеличению его запаса на 68 м³/га. В отличие от лесоустройства 2003 г. на таксационном выделе зафиксирован елово-сосновый подрост и самосев в количестве 0,5 тыс. экз./га. Проходная рубка в древостое осуществлялась в летний период согласно действующим правилам ухода за лесом [2]. В первую очередь вырубались засыхающие и сухостойные деревья, во вторую – отставшие в росте, с редкой неравномерно развитой кроной и искривленным стволом. Соблюдалось условие равномерного размещения деревьев по площади выдела. По данным перечета деревьев, было вырублено 87,4 м³, что составило 13,3 % от исходного запаса древостоя на лесосеке. Распределение деревьев (в том числе вырубленных) по ступеням толщины на лесосеке проходной рубки представлено на рис. 2.

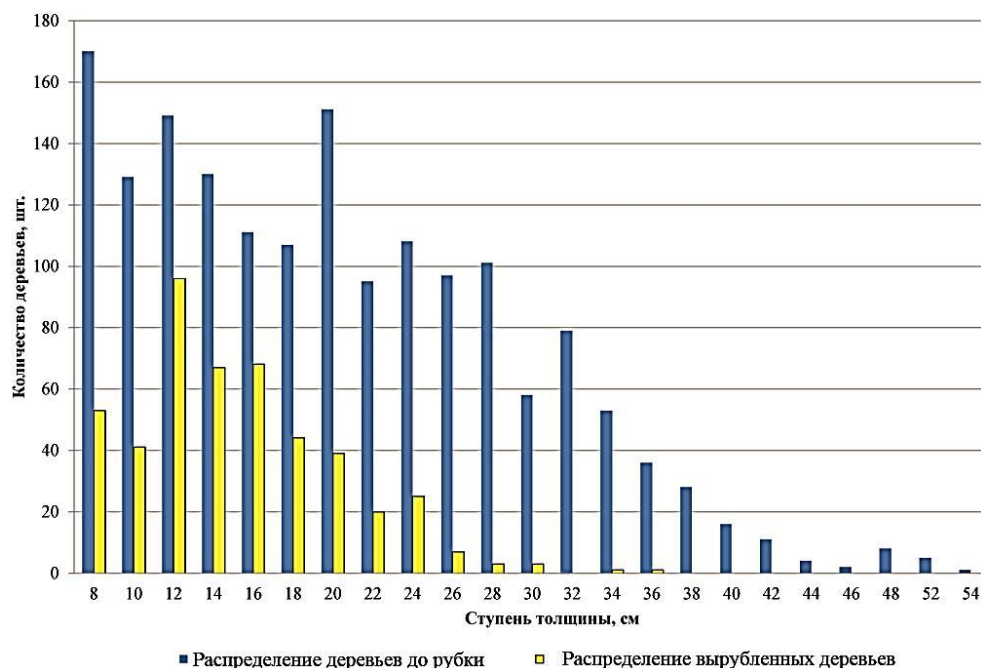


Рис. 2. Распределение деревьев на участке проходной рубки по ступеням толщины

Как видно из диаграммы, при проведении лесосечных работ вырубались преимущественно тонкомерные деревья диаметром до 20 см (средний диаметр 16 см) на высоте груди. В результате средний диаметр оставшихся после рубки деревьев увеличился до 26 см, средняя высота достигла 27 м, относительная полнота и запас снизились соответственно до 0,8 и 315 м³/га. В результате проходной рубки из состава древостоя исчезла осина, существенно улучшилось его санитарное состояние.

В ходе проходной рубки с использованием на трелевке леса мини-трактора МТР-1 осуществлялись хронометрические наблюдения, при которых исследовались затраты времени на валку, раскряжевку, погрузку, транспортировку и разгрузку одного дерева диаметром на высоте груди 16...30 см. Расстояние трелевки составляло в среднем 30 м. Результаты исследований приведены в табл. 2, из данных которой следует, что общие затраты времени на заготовку одного дерева в среднем составляют 21...22 мин. Если сбор и складирование порубочных остатков в кучи не связаны с транспортировкой и являются отдельным мероприятием, то на него дополнительно затрачивается 3...10 мин рабочего времени. Таким образом, за 1 ч работы при данной технологии полностью обрабатывается 1,5 (при диаметре дерева 30 см) и 3 (при диаметре 16 см) дерева, что составляет соответственно 1,1 и 0,5 м³/ч ликвидной древесины. При основном количестве вырубаемых деревьев с диаметром на высоте груди 12...16 см за 6 ч (за смену) по данной подеревной технологии фактически заготавливается около 3,0 м³ ликвидной древесины. Таким образом, технология с валкой, раскряжевкой и последующей трелевкой мини-трактором заготовленной древесины одним рабочим наиболее предпочтительна при выборочной

Таблица 2

Затраты времени на заготовку одного дерева по операциям

Древесная порода	Диаметр, см	Объем, м ³	Время для выполнения операции, мин						
			Выбор и валка дерева	Раскряжевка и обрезка сучьев	Холостой ход	Погрузка древесины	Транспортировка древесины	Разгрузка	Сбор и складирование порубочных остатков в кучи
Осина	23	0,44	1,0	2,5	–	–	–	–	–
Береза	26	0,52	1,0	3,0	–	–	–	–	–
Береза	18	0,23	1,5	–	–	–	–	–	–
Сосна	16	0,16	1,5	–	–	–	–	–	–
Береза	19	0,28	1,0	1,0	1,5	7,5	1,5	1,0	2,5
Осина	30	0,80	2,0	3,0	3,0	12,0	3,0	5,0	10,0
Береза	16	0,18	1,0	5,0	3,0	10,0	3,0	5,0	–
Береза	16	0,18	1,5	2,5	2,0	2,0	2,0	1,0	–
Береза	20	0,31	1,0	6,0	3,0	9,0	3,0	4,0	–
Сосна	18	0,25	1,5	4,0	–	–	–	–	4,0
Сосна	22	0,42	1,0	4,0	–	–	–	–	7,0
Сосна	20	0,33	1,0	3,0	–	–	–	–	2,0
Сосна	28	0,73	1,0	3,0	2,0	10,0	2,0	4,0	10,0
Сосна	30	0,86	1,0	5,0	–	–	–	–	5,0
Сосна	28	0,73	1,0	3,0	2,0	8,0	2,0	4,0	–
<u>Среднее</u>	–	0,42	<u>1,2</u>	<u>3,5</u>	<u>2,4</u>	<u>8,4</u>	<u>2,4</u>	<u>3,4</u>	<u>5,5</u>
%			5,6	16,4	11,3	39,4	11,3	16,0	20,5

рубке очень слабой и слабой интенсивности, т. е. в условиях, где не предусматривается прорубка технологических коридоров и выборка деревьев диаметром на высоте груди составляет 20 см и выше.

В ходе эксперимента установлено, что наименее продолжительной операцией является валка дерева, самой продолжительной – погрузка сортиментов и вершин деревьев на тракторную тележку. На них расходуется соответственно 5,6 и 39,4 % от общего времени (табл. 2). Затраты времени на операции, связанные с работой мини-трактора (холостой ход, погрузка, транспортировка и разгрузка сортиментов), составляют 78,0 % от общих затрат. Следовательно, организация работы с закреплением используемых инструментов (бензомоторной пилы и мини-трактора) за конкретным рабочим приведет (во избежание простоев) к созданию бригад из 1 рабочего с пилой и 3-4 рабочих на мини-тракторах. При этом неизбежны дополнительные затраты времени, связанные с необходимостью согласования действий членов бригады.

Как уже отмечалось ранее, лесосека по периметру с двух сторон ограничена грунтовой дорогой. В этом случае трелевка древесины из части лесосеки, непосредственно граничащей с дорогой, осуществляется только лебедкой, с помощью которой подтаскиваются заготовленные 6-метровые сортименты от края лесосеки к дороге (рис. 3).

Деревья валятся вершиной в сторону направления трелевки. При применении такого технологического приема за 1 ч трелюется в штабель 1,4 м³ ликвидной древесины, что соответствует объему 9-10 деревьев. Для того,



Рис. 3. Формирование штабеля у дороги

чтобы их свалить и разрезать, удалить сучья, собрать и складировать порубочные остатки понадобится еще 1,5 ч. В результате за 6 ч работы фактически будет подготовлено к погрузке на автотранспорт 3,1 м³ ликвидной древесины. Таким образом, время, затраченное на операции по транспортировке древесины на тележке и ее складирование, сопоставимо со временем, необходимым для поочередной трелевки сортиментов лебедкой из лесосеки.

Результаты наших исследований близки к данным других авторов [1]. Сравнивая характеристики на трелевке леса нашего лабораторного образца и подобной техники зарубежного производства, можно отметить их примерно одинаковую производительность по заготовке тонкомерных сортиментов (0,5 м³/ч). Однако производительность по подтаскиванию сортиментов к волоку в нашем случае примерно в 2 раза ниже, чем у зарубежного аналога (1,4 против 2,3 м³/ч). Это может быть связано со способом трелевки, который в случае использования мини-трактора осуществляется подтаскиванием (хоть и на короткое расстояние) тросом лебедки к волоку только одного сортимента. Зарубежная технология предусматривает трелевку к волоку сразу пачки сортиментов. Кроме того, в ряде случаев в процессе работы оператор мини-трактора вынужден тратить время на подправление зацепившегося за препятствие сортимента, что связано с лишними переходами от объекта к мини-трактору и обратно. На основании результатов эксперимента высказано предположение, что процесс трелевки сортиментов из пасеки с помощью лебедки может быть существенно ускорен, если управление ею будет осуществляться дистанционно.

Выводы

1. Производительность мини-трактора при рассмотренных технологиях трелевки тонкомерных сортиментов оказалась примерно одинаковой и составила 0,5 м³/ч. При увеличении диаметра дерева до 28...30 см выработка на 1 рабочего при последовательной валке, раскряжевке и трелевке одного дерева может достигать 1,1 м³/ч.

2. Технология, при которой весь цикл операций выполняется с каждым отдельным деревом, целесообразна в условиях выборочной рубки очень слабой и слабой интенсивности и при диаметре на высоте груди вырубаемых деревьев 20 см и выше.

3. Использование мини-трактора в качестве самоходной лебедки может быть предпочтительно, когда расстояние трелевки не превышает рабочую длину троса, в нашем случае 15...20 м.

4. Процесс трелевки сортиментов лебедкой можно существенно ускорить и облегчить при использовании дистанционного управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Валяжонков В.Д., Мясущев Д.Г.* Особенности малой механизации лесозаготовок за рубежом // Лесн. журн. 2005. № 6. С. 64–69. (Изв. высш. учеб. заведений).
2. Правила ухода за лесами: утв. приказом Министерства природных ресурсов и экологии РФ № 626 от 22.11.2017 г. М., 2017. 164 с.
3. *Семин И.А.* Малогабаритные лесозаготовительные машины Скандинавских стран. М.: ВНИПИЭИлеспром, 1999. 10 с.
4. *Теринов Н.Н., Герц Э.Ф., Безгина Ю.Н.* Малогабаритный трактор для рубок ухода и его влияние на лесную среду // Аграрная Россия. 2015. № 7. С. 27–31.
5. *Ушницкий А.А.* Обоснование параметров малогабаритной тягово-транспортной машины для рубок промежуточного пользования: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2006. 25 с.
6. Форвардер для малообъемных лесозаготовок // Лесопромышленник. 2007. № 3. Режим доступа: http://www.lesopromyshlennik.ru/timber/tech_1.html (дата обращения: 15.12.2017)
7. *Allen R., Hurst J., Wiser S., Easdale T.* Developing Management Systems for the Production of Beech Timber // New Zealand Journal of Forestry. 2012. Vol. 57, no. 2. Pp. 38–44.
8. *McEwan A., Brink M., van Zyl S.* Guidelines for Difficult Terrain Ground Based Harvesting Operations in South Africa // ICFR Bulletin. 2013. No. 02. 149 p.
9. *Salakka J.* Identifying Appropriate Small Scale Harvesting Technologies for Commercial Scale Bamboo Fuel Chip Production in Lao PDR: Degree Program in Forestry: Thesis. Joensuu, Finland, 2014. 63 p.
10. *Spinelli R., Magagnotti N., Relaño R.L.* An Alternative Skidding Technology to the Current Use of Crawler Tractors in Alpine Logging Operations // Journal of Cleaner Production. 2012. Vol. 31. Pp. 73–79.
11. *Vusić D., Šušnjar M., Marchi E., Spina R., Zečić Ž., Picchio R.* Skidding Operations in Thinning and Shelterwood Cut of Mixed Stands – Work Productivity, Energy Inputs and Emissions // Ecological Engineering. 2013. Vol. 61, part A. Pp. 216–223.

Поступила 15.01.18

UDC 630*375.4+630*243

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.87

Sustainable Technologies at Severance Cuttings in the Ural Training Experimental District Forestry of the Ural State Forest Engineering University*N.N. Terinov, Doctor of Agricultural Sciences, Leading Researcher**E.F. Gerts, Doctor of Engineering Sciences, Professor**A.V. Mekhrentsev, Candidate of Engineering Sciences, Professor*

Ural State Forest Engineering University, Sibirskiy trakt, 37, Yekaterinburg, 620100, Russia Federation; e-mail: n_n_terinov@mail.ru, gerz.e@mail.ru, mehrentsev@yandex.ru

The paper considers the experience of severance cutting with the use of a minitractor at the forest skidding. The minitractor was equipped with a driver's seat, a drum winch (a cable length is 20 m) and a drag cart designed for transportation of logs with a length of 2...6 m. The work was carried out in a high-density pure middle-aged pine forest. The felling area was 1.8 ha. A complex microrelief and a developed road-trail network characterized the site. The planned intensity of felling was 12.0 % of the initial stock of the stand, the actual harvest was 13.3 %, which corresponded to the parameters of selective cutting of low intensity. The distance of skidding of harvested wood in the form of assortments averaged 30 m. The range of works from felling to skidding of harvested wood and disposal of logging residue was carried out by one worker. The non-cutting technology for the development of the felling area was applied. Two variants of wood harvesting were investigated: the first provided loading of one cut tree trunk and lopping onto a cart and transport them to the loading point; the second variant considered the alternate movement of assortments by the winch of the minitractor to the place of loading. The total time required for harvesting of one tree on average was 21...22 min, for collection and storage of logging residues – an additional 2...10 min. In both variants of harvesting with the base quantity of cut trees with a diameter at the chest height of 12...16 cm, the productivity of the minitractor at the skidding of merchantable wood was 0.5 m³/h. With an increase in the diameter of cut trees to 28...30 cm, the performance of the minitractor increased to 1.1 m³/h. The authors make a guess that the performance of the minitractor can be increased by reducing the operator's walking passage, which is achieved by installing a winch remote control system. The first variant with skidding of only one trunk with a tree crown is most preferable with very weak and weak intensity of selective felling, a non-cutting technology and the diameter of cut trees at a chest height of at least 20 cm. The second method, when a minitractor is used as a self-propelled winch, is worth if the distance of the skidding does not exceed 15...20 m, i. e. it has a restriction on the length of the winch cable. The least prolonged operation of the technological process is tree felling, the longest one is the loading of assortments and lopping onto a tractor cart. 5.6 and 39.4 % of the total expenditure of time are spent on them, respectively 78 % of operations are related to the operation of the minitractor (idling, loading, inhauling and unloading).

Keywords: severance cutting, minitractor, skidding, productivity.

For citation: Terinov N.N., Gerts E.F., Mekhrentsev A.V. Sustainable Technologies at Severance Cuttings in the Ural Training Experimental District Forestry of the Ural State Forest Engineering University. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2018, no. 4, pp. 87–96. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.87

REFERENCES

1. Valyazhonkov V.D., Myasishchev D.G. Osobennosti maloy mekhanizatsii lesozagotovok za rubezhom [Peculiarities of Small Mechanization of Forest Harvesting Abroad]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2005, no. 6, pp. 64–69.
2. *Pravila ukhoda za lesami: utv. prikazom № 626 Ministerstva prirodnnykh resursov i ekologii RF ot 22.11.2017 g.* [Items of Forest Care: Approved by the Order No. 626 of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation of 22 November 2017]. Moscow, 2017. 164 p.
3. Semin I.A. *Malogabaritnyye lesozagotovitel'nyye mashiny Skandinavskikh stran* [Small-scale Forest Machines of Scandinavian Countries]. Moscow, National Research and Design Institute for Economics, Production Management and Information in the Forest, Pulp and Paper and Timber Processing Industry Publ., 1999. 10 p. (In Russ.)
4. Terinov N.N., Gerts E.F., Bezgina Yu.N. Malogabaritnyy traktor dlya rubok ukhoda i ego vliyaniye na lesnuyu sredu [Compact Tractor for Thinning and Its Influence on the Forest Environment]. *Agrarnaya Rossiya* [Agrarian Russia], 2015, no. 7, pp. 27–31.
5. Ushnitskiy A.A. *Obosnovaniye parametrov malogabaritnoy tyagovo-transportnoy mashiny dlya rubok promezhutochnogo pol'zovaniya: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk* [Justification of the Parameters of a Compact Traction Vehicle for Intermediate Felling: Cand. Eng. Sci. Diss. Abs.]. Krasnoyarsk, 2006. 25 p.
6. Forvarder dlya maloob'yemnykh lesozagotovok [Forwarder for Low-Volume Logging]. *Lesopromyshlennik* [The Timber Industry Worker], 2007, no. 3. Available at: http://www.lesopromyshlennik.ru/timber/tech_1.html (accessed 15.12.2017).
7. Allen R., Hurst J., Wiser S., Easdale T. Developing Management Systems for the Production of Beech Timber. *New Zealand Journal of Forestry*, 2012, vol. 57, no. 2, pp. 38–44.
8. McEwan A., Brink M., van Zyl S. Guidelines for Difficult Terrain Ground Based Harvesting Operations in South Africa. *ICFR Bulletin*, 2013, no. 02. 149 p.
9. Salakka J. *Identifying Appropriate Small Scale Harvesting Technologies for Commercial Scale Bamboo Fuel Chip Production in Lao PDR: Degree Program in Forestry*. Thesis. Joensuu, Finland, 2014. 63 p.
10. Spinelli R., Magagnotti N., Relaño R.L. An Alternative Skidding Technology to the Current Use of Crawler Tractors in Alpine Logging Operations. *Journal of Cleaner Production*, 2012, vol. 31, pp. 73–79.
11. Vusić D., Šušnjar M., Marchi E., Spina R., Zečić Ž., Picchio R. Skidding Operations in Thinning and Shelterwood Cut of Mixed Stands – Work Productivity, Energy Inputs and Emissions. *Ecological Engineering*, 2013, vol. 61, part A, pp. 216–223.

Received on January 15, 2018

УДК 634.0.383

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.97

**РАСЧЕТ ПЛАНОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КЛОТОИДНОЙ ТРАССЫ,
ПОДОБРАННОЙ НА СТЕРЕОМОДЕЛИ МЕСТНОСТИ***М.М. Умаров¹, канд. техн. наук**А.В. Скрыпников², д-р техн. наук, проф.**Д.В. Ломакин², экстерн**Е.Ю. Микова², экстерн*¹Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,
ул. 2-я Бауманская, д. 5, Москва, Россия, 105005; e-mail: m_m_umarov@mail.ru²Воронежский государственный университет инженерных технологий, просп. Революции, д. 19, г. Воронеж, Россия, 394036; e-mail: skrypnikovvsafe@mail.ru,
elenabok@mail.ru, e_y_mikova@mail.ru

Сравнение существующих методов укладки трассы показывает, что наибольшими преимуществами обладает способ трассирования по стереомодели, когда трасса укладывается в виде пространственной кривой с учетом всех видимых при этом условий местности. Однако преимущества такого трассирования не всегда использовались на практике из-за сложности фотограмметрических определений, имеющих место при работе с аэрофотоматериалами. Это значительно снижало эффективность применения аэрофотометодов при изысканиях линейного типа. Появление быстродействующих вычислительных машин предопределило направление дальнейшего совершенствования аэроизысканий – создание технологических схем трассирования, максимально использующих возможности фотограмметрии и современной вычислительной техники. В настоящей работе разрабатывается полуавтоматизированная технологическая схема определения проектных элементов трассы, значительно упрощающая процесс фотограмметрической укладки трассы по стереомодели и полностью автоматизирующая все расчеты. Упрощение фотограмметрической укладки достигнуто за счет приближенного нахождения положения проектируемой трассы в ряде точек, а также приближенного определения по стереомодели элементов закруглений с помощью шаблонов. Строгое определение положения будущей трассы с увязкой и корректировкой, выбранное по стереомодели элементов, производится на ЭВМ одновременно с фотограмметрической обработкой. При трассировании по стереомодели местности применение шаблонов кривых не обеспечивает точности определения элементов кривых, соответствующей заключительным стадиям проектирования лесных автомобильных дорог. Повышение точности может быть достигнуто за счет использования более достоверного метода определения координат точек местности и строгих аналитических зависимостей, существующих в клотоидном закруглении. Описанный процесс трассирования по аэроснимкам выполняется на простейших фотометрических приборах: стереоскопе и стереокомпараторе. Поскольку наблюдение снимков под стереоскопом не требует никакой специальной ориентировки, использование его для выбора положения трассы упрощает и ускоряет этот процесс, а применение автоматизированного стереокомпаратора значительно сокращает сроки подготовки исходной информации для ЭВМ.

Ключевые слова: лесные автомобильные дороги, трассирование, стереомодель, клотоида, стереоскоп, стереокомпаратор.

Для цитирования: Умаров М.М., Скрыпников А.В., Ломакин Д.В., Микова Е.Ю. Расчет плановых элементов клотоидной трассы, выбранной на стереомодели местности // Лесн. журн. 2018. № 4. С. 97–106. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.97

Введение

Технологическая схема определения проектных элементов трассы разбивается на три основных этапа. На первом этапе выполняется выбор зоны варьирования путем оценки природных и других условий по предполагаемому направлению. Оценка производится в основном путем комплексного камерального дешифрования, включающего в себя определение топографических, геологических, гидрологических, почвенно-грунтовых, а в некоторых случаях стоимостных и других характеристик интересующей местности.

На втором этапе в пределах выбранной полосы варьирования осуществляется укладка линии трассы с подбором основных элементов клотоидных закруглений: конечных радиусов R_{\min} , параметров клотоид A_1 и A_2 , положения главных точек кривых и вершин углов поворота. На этом этапе подбирается набор характерных точек рельефа для последующего образования в процессе обработки на ЭВМ цифровой модели местности.

На третьем этапе измеряются на автоматизированном стереокомпараторе координаты точек на снимках.

Заключительным процессом являются вычисления на ЭВМ по специальным программам, в ходе которых уточняется плановое положение подобранной по стереомодели трассы и определяются проектные элементы, соответствующие увязанному положению. По точкам цифровой модели строится аналитическая модель рельефа местности, а уже по этой модели находится продольный профиль увязанной в плане линии трассы.

Объекты и методы исследования

При трассировании по стереомодели местности применение шаблонов кривых не обеспечивает точности определения элементов кривых и не соответствует заключительным стадиям проектирования лесных автомобильных дорог.

Повышение точности может быть достигнуто за счет применения более корректного метода определения координат точек местности и строгих аналитических зависимостей, существующих в клотоидном закруглении.

Исследования проводились на ЭВМ по специально составленным на алгоритмическом языке C++ программам.

Результаты исследования и их обсуждение

Нередко при трассировке по стереомодели возникает необходимость в определении глубин оврагов, западин, карстовых воронок, водоемов на мелководье, высоты древесной растительности и т. д. Решение подобных задач осуществляют методами измерительного дешифрования. Специальные исследования показывают [4, 8], что для зеркально-линзового стереоскопа Д-2 ошибка определения превышений при разности высот порядка 30 м и расстоянии на снимке до 5 мм составляет 7,2 %, для интерскопа – 6,8 %, для стереометра СМ-3 – 3,0 %.

Таким образом, применение стереоскопа на первом этапе (при выборе зоны варьирования) позволяет использовать не только изобразительные свойства снимков, но и измерительные.

На втором этапе (укладка трассы в пределах ранее выбранной полосы) предварительный подбор элементов кривых можно производить с помощью прозрачных шаблонов (рис. 1), вписываемых в модель местности.

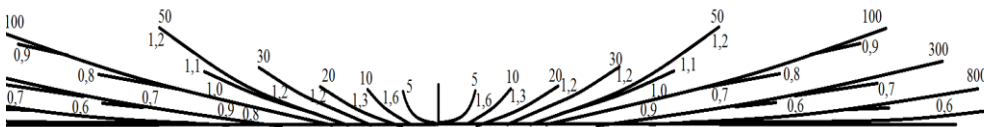


Рис. 1. Шаблон клотоидных кривых для работ на фотосхемах и топопланах

В настоящее время имеется несколько различных шаблонов. В зависимости от типа, размеров и материала шаблона методика их использования различается [3, 7]. Представляет интерес стереоскопическое вписание закруглений в рельеф местности. В этом случае исполнитель, оценивая положение будущей трассы в пространстве модели, может более качественно определять параметры подобного закругления. Однако требования к качеству изготовления таких шаблонов достаточно высоки, что и объясняет низкий уровень использования на практике стереоскопического метода по шаблонам.

Технология подбора элементов закругления по шаблону сводится к определению R_{\min} и параметров A_1 и A_2 обеих клотоидных кривых, составляющих закругление, или биклотоиду. Одновременно на снимках фиксируется положение подобранных кривых. Зафиксированное положение на снимках главных точек кривых дает возможность определять большие тангенсы T_1 и T_2 , а также углы β_1 и β_2 .

Простота и наглядность подбора плановых параметров кривых обеспечили широкое распространение этому методу, особенно на предварительных стадиях изысканий [6].

Применение ЭВМ для нахождения углов и расстояний между зафиксированными точками трассы повышает точность определения координат и, тем самым, точность общего решения [2].

Поскольку первоначально при трассировании по шаблону положение трассы определяется приблизительно (окончательное положение будет найдено после расчетов на ЭВМ), для нахождения продольного профиля будущей трассы в зоне ее прохождения наблюдаются и фиксируются на снимках характерные точки местности, образующие ее цифровую модель [10]. Путем нелинейной интерполяции этой модели на ЭВМ в дальнейшем строится продольный профиль подобранной трассы.

Приближенность фотографического трассирования по стереомодели местности, а также стремление автоматизировать этот процесс на базе современных технических средств послужили основанием для использования аналитических методов при решении поставленной задачи.

Опыт применения ЭВМ в проектировании показывает, что перевес методов, сложившихся при «ручном» проектировании, в сторону новых условий снижает эффективность от применения ЭВМ. В связи с этим появляется необходимость разработать новые решения задачи и способы управления вычислительным процессом, наиболее пригодные при работе на ЭВМ.

Большое внимание применению аналитических методов уделяется за рубежом. Среди большого количества зарубежных работ в этой области следует выделить работу проф. Хидео Накамура (Токийский университет). Решения, полученные им, заметно отличаются от приемов, используемых в европейских странах [11]. В частности, это относится к вопросу о приближенности исходных данных. Типичным примером «европейского» решения является методика аналитического трассирования, разработанная шведской фирмой КМ, которая получила наибольшее распространение в мире, в том числе и в США.

Задача настоящего исследования состояла в разработке алгоритма аналитического трассирования сплошными несимметричными клотоидами, т. е. с большой степенью приближения. Такое решение дает возможность проектировщику использовать для анализа аэроснимков простейшие стереоскопические приборы без какой-либо их специальной установки или ориентировки.

Найденные по неориентированной стереомодели приближенные значения проектных элементов корректируются и уточняются в дальнейшем, в процессе вычислений на ЭВМ, после чего также на ЭВМ определяется продольный профиль уточненного положения трассы.

Ниже разбираются найденные решения, различающиеся комбинациями исходных данных. В качестве основы решения принято закругление, состоящее из двух сплошных несимметричных клотоид. Закругление задается тремя точками, зафиксированными на снимках: т. А – начало закругления; т. В – точка, где радиус минимален (R_{min}); т. С – конец закругления (рис. 2).

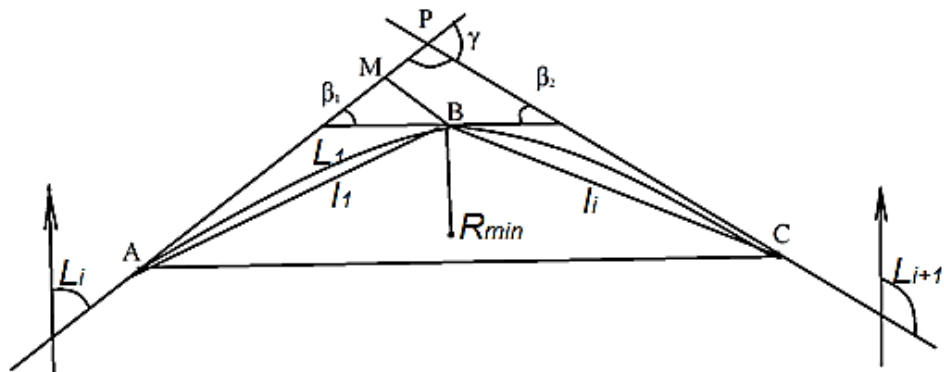


Рис. 2. Уточнение элементов кривых

Поскольку через 3 точки можно провести множество пар клотоидных кривых с различными параметрами, имеющих общий радиус в т. В, необходимы дополнительные данные для ограничения подобной неопределенности.

Таковыми данными могут быть радиус закругления R_{min} , параметр A или угол β какой-либо из кривых, а также угол поворота трассы γ . Причем, если для нахождения R_{min} и A необходимо знать масштаб съемки, то для нахождения углов это не нужно. Однако в некоторых случаях приходится иметь дело с ситуацией, когда R_{min} является заданной величиной. В связи с этим рассмотрим два возможных решения: когда зафиксирован R_{min} и когда имеется угол поворота трассы γ .

Дано: конечный радиус биклотоиды – R_{\min} ; направление касательной к первой клотоиде – L_i ; координаты X, Y главных точек биклотоиды: A – начало кривой, B – точка сопряжения (R_{\min}), C – конец кривой (рис. 2).

По этим значениям находятся все остальные элементы биклотоиды ($A_1, A_2, \beta_1, \beta_2$ и т. д.), по найденным значениям β_1 и β_2 определяется угол поворота трассы и направление касательной ко второй клотоиде L_{i+1} .

Первый этап сводится к определению проекций $\Delta X'_{AB}$ и $\Delta Y'_{AB}$ первой клотоиды AB . Решение осуществляется ортогональным преобразованием разностей координат т. A и B на величину угла L_i по следующим формулам:

$$\begin{aligned}\Delta X'_{AB} &= \Delta X_{AB} \cos L_i + \Delta Y_{AB}; \\ \Delta Y'_{AB} &= \Delta X_{AB} \sin L_i + \Delta Y_{AB}.\end{aligned}\quad (1)$$

Подставляя найденные значения $\Delta X'_{AB}$ и $\Delta Y'_{AB}$ в уравнения системы (2)

$$\left. \begin{aligned}\Delta X &= S - \frac{S^3}{40R_{\min}^2} + \frac{S^5}{3456R_{\min}^4} \\ \Delta Y &= \frac{S^2}{6R_{\min}} - \frac{S^4}{336R_{\min}^3} + \frac{S^6}{42240R_{\min}^5}\end{aligned}\right\} \quad (2)$$

и решая отдельно каждое уравнение, определим два значения: L'_1 и L''_1 (S – длина смещения).

Полученные расхождения свидетельствуют о том, что при заданном значении R_{\min} в общем случае нельзя провести клотоидную кривую [9]. В результате чего возникает задача корректировки положения какой-либо из точек либо значения R_{\min} .

Для случая, когда R_{\min} может меняться, последующее решение может осуществляться итеративным методом. По вычисленным значениям L'_1 и L''_1 находится среднее, которое подставляется в уравнения системы (2). В результате определяются два значения R' и R'' . По среднему значению ($R_{\text{ср}}$) повторно рассчитываются L'_1 и L''_1 , далее процесс продолжается до тех пор, пока разность $R' - R''$ не будет меньше установленного допуска.

Исследования показали, что процесс вычислений можно значительно ускорить, если использовать при решении зависимость, выражающую разность между длиной клотоиды и длиной стягивающей ее хорды.

Длина хорды определяется по формуле

$$a = \Delta X^2 + \Delta Y^2. \quad (3)$$

Поскольку длина клотоиды будет всегда больше длины хорды, запишем поправку через длину клотоиды и длину хорды:

$$\Delta L = L - a. \quad (4)$$

Подставляя в выражение (4) первые члены уравнений системы (2), получим следующее выражение:

$$\Delta L = L - \sqrt{\left(L - \frac{L^3}{40R_{\min}^2}\right) + \left(\frac{L^3}{6R_{\min}} - \frac{L^4}{334R_{\min}^4}\right)}. \quad (5)$$

После преобразования подкоренного выражения имеем:

$$\Delta L = a - a \sqrt{1 - \frac{1}{45} \left(\frac{a^2}{R_{\min}}\right)^2 - \frac{1}{160} \left(\frac{a}{R_{\min}}\right)} \quad (6)$$

Исправленное по формуле (4) значение длины 1-й кривой позволяет сразу определить значение R_{\min} .

Затем находим:

$$\beta_1 = \frac{L}{2R_{\min}}; \quad (7)$$

$$A_1^2 = R_{\min}L. \quad (8)$$

После вычисления элементов i -й кривой по формуле (6) уточняется длина 2-й кривой и по формулам (2), (7) и (8) определяются ее элементы. Дирекционный угол касательной ко 2-й клотоиде находится по формуле

$$L_{i+1} = L_i \pm (180^\circ - \beta_1 - \beta_2). \quad (9)$$

В процессе экспериментального исследования было установлено, что положение конечной точки, вычисленное по элементам биклотоиды, найденным в процессе решения, в общем случае не совпадает с заданным (т. С) [5]. Возникающие поперечные смещения составляют до 30 м.

В другом варианте, когда вместо радиуса задан угол поворота γ , элементы 1-й кривой, радиус R_{\min} и элементы 2-й кривой определяются так же, как в предыдущей задаче: по найденным значениям устанавливаются угол γ' и дирекционный угол касательной ко 2-й клотоиде:

$$\gamma' = \beta_1 + \beta_2; \quad (10)$$

$$L_{i+1} = L_i + \gamma'. \quad (11)$$

Повторно значение L_{i+1} может быть получено через заданный угол поворота γ , т. е.

$$L_{i+1} = L_i + \gamma. \quad (12)$$

В общем случае значения L_{i+1} и L_{i+1} не будут совпадать [1].

Как показали результаты экспериментальных исследований, при описанных выше исходных данных задача не имеет однозначного решения ввиду переопределенности исходной информации.

Заключение

Исследования проводились с использованием специально составленных программ на алгоритмическом языке C++, позволивших рассчитать макет клотоидной трассы, состоящей из несимметричных клотоидных закруглений, или биклотоид, чередующихся с прямыми вставками. Как показали исследования, более полный учет геометрических связей, имеющих место в полном несимметричном закруглении, дает возможность непосредственно определять неизвестные параметры кривых без предварительного установления их приближенного значения. Подобный подход позволяет сократить время, затрачиваемое на решение, отказаться от получения дополнительной информации и ввода ее в ЭВМ, упростить методику работы на стереомодели. Использование шаблонов для визуального контроля положения будущей трассы возможно и в этом случае, однако их роль существенно изменяется.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козлов В.Г., Бурмистров В.А., Чистяков А.Г., Арутюнян А.Ю., Умаров М.М. Совершенствование технического сервиса лесовозных автопоездов с учетом влияния состояния автотранспортной сети: моногр. Воронеж: Воронеж. гос. аграр. ун-т им. Императора Петра I, 2015. 239 с.

2. Козлов В.Г., Умаров М.М., Чернышова Е.В., Чан Ван Зы. Анализ транспортного потока для формирования базиса управления дорожным движением при перевозке грузов для агропромышленного комплекса // Материалы междунар. науч.-практ. конф. «Системный анализ и моделирование процессов управления качеством в инновационном развитии агропромышленного комплекса», 08–09 апр. 2015 г. Воронеж: ВГУИТ, 2015. С. 95–104.

3. Никитин В.В., Козлов В.Г., Арутюнян А.Ю., Умаров М.М. Имитационная модель функционирования лесовозной автомобильной дороги // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2016. Т. 20, № 2. С. 167–172.

4. Скрыпников А.В., Умаров М.М., Арутюнян А.Ю., Чернышова Е.В. Анализ методов оценки надежности сложных технических комплексов // Материалы междунар. науч.-практ. конф. «Системный анализ и моделирование процессов управления качеством в инновационном развитии агропромышленного комплекса», 08–09 апр. 2015 г. Воронеж: ВГУИТ, 2015. С. 76–81.

5. Скрыпников А.В., Умаров М.М., Арутюнян А.Ю., Чернышова Е.В. Методика обеспечения заданного уровня надежности функционирования комплексного технического обеспечения // Материалы междунар. науч.-практ. конф. «Системный анализ и моделирование процессов управления качеством в инновационном развитии агропромышленного комплекса», 08–09 апр. 2015 г. Воронеж: ВГУИТ, 2015. С. 594–599.

6. Скрыпников А.В., Умаров М.М., Арутюнян А.Ю., Чернышова Е.В. Определение надежности функционирования комплексного технического обеспечения на основе параметрических методов // Материалы междунар. науч.-практ. конф. «Системный анализ и моделирование процессов управления качеством в инновационном развитии агропромышленного комплекса», 08–09 апр. 2015 г. Воронеж: ВГУИТ, 2015. С. 582–587.

7. Скрыпников А.В., Умаров М.М., Арутюнян А.Ю., Чернышова Е.В. Способы оценки требуемого уровня надежности функционирования комплексного технического обеспечения // Материалы междунар. науч.-практ. конф. «Системный анализ и моделирование процессов управления качеством в инновационном развитии агропромышленного комплекса», 08–09 апр. 2015 г. Воронеж: ВГУИТ, 2015. С. 587–594.

8. Скрыпников А.В., Умаров М.М., Чернышова Е.В. Роль состояния лесовозных автомобильных дорог в обеспечении удобства и безопасности движения в неблагоприятные периоды года // Наука. Технологии. Производство. 2015. № 2(6). С. 66–68.

9. Чернышова Е.В. Методы формирования цифровой модели местности при трассировании лесовозных автомобильных дорог // Системы. Методы. Технологии. 2017. № 3(35). С. 143–148.

10. Antopolskii A.B. The Infosphere of Social Sciences: Structure, Boundaries, and Functions // Scientific and Technical Information Processing. 2017. Vol. 44, iss. 2. Pp. 87–93.

11. Skrypnikov A., Dorokhin S., Kozlov V.G., Chernyshova E.V. Mathematical Model of Statistical Identification of Car Transport Informational Provision // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2017. Vol. 12, iss. 2. Pp. 511–515.

Поступила 07.03.18

UDC 634.0.383

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.97

Calculation of Planned Elements of a Clothoid Route Composed on the Terrain Stereomodel*M.M. Umarov*¹, *Candidate of Engineering Sciences**A.V. Skrypnikov*², *Doctor of Engineering Sciences, Professor**D.V. Lomakin*², *External Student**E.Yu. Mikova*², *External Student*¹Bauman Moscow State Technical University, ul. Baumanskaya 2-ay, 5/1, Moscow, 105005, Russian Federation; e-mail: m_m_umarov@mail.ru²Voronezh State University of Engineering Technology, pr. Revolyutsii, 19, Voronezh, 394036, Russian Federation; e-mail: skrypnikovvsafe@mail.ru, elenabok@mail.ru, e_y_mikova@mail.ru

Comparison of the existing methods of route laying shows that the way of tracing according to a stereomodel, when the route is laid in the form of a spatial curve, taking into account all visible terrain conditions, is the most advantageous. However, the advantages of such a tracing were not always used in practice because of the complexity of the photogrammetric definitions when working with aerophotos. This significantly reduced the effectiveness of the use of aero photomethods when investigations of linear type. The emergence of high-speed computers predetermined the direction of further improvement of aero research: the creation of operation schedule of routing that maximized the use of photogrammetry and modern computer technology. The paper presents a semi-automated operation schedule for determining the design elements of the route, which greatly simplifies the process of photogrammetric laying of the route according to a stereomodel and fully automates all calculations. Simplification of photogrammetric laying is achieved due to an approximate finding of a projected route position in a number of points, as well as an approximate determination of the curvature elements by means of templates using the stereomodel. A strict determination of the position of a future route with coordination and adjustment, selected according to the stereomodel of elements, is performed on the computer simultaneously with photogrammetric processing. When tracing according to a stereomodel of the terrain, the use of pattern of curves does not provide an accurate definition of the elements of curves corresponding to the final stages of the forest road design. Increasing the accuracy can be achieved by applying a more accurate method of determining the coordinates of terrain points and strict analytical dependencies existing in the clothoid curvature. The described process of tracing according to aerial photographs is performed on the simple photometric instruments: a stereoscope and a stereocomparator. Since the observation of images under the stereoscope does not require any special orientation, its use to select the position of the route simplifies and speeds up this process; and the use of an automated stereocomparator significantly reduces the time required for preparing the initial information for the computer.

Keywords: forest lorry road, tracing, stereomodel, clothoid, stereoscope, stereocomparator.

REFERENCES

1. Kozlov V.G., Burmistrov V.A., Chistyakov A.G., Arutyunyan A.Yu., Umarov M.M. *Sovershenstvovaniye tekhnicheskogo servisa lesovoznykh avtopoezdov s uchetom vliyaniya sostoyaniya avtotransportnoy seti: monogr.* [Improvement of Technical Service of Log Trucks Taking into Account the Influence of the State of the Motor Transport Network]. Voronezh, VSAU Publ., 2015. 239 p. (In Russ.)

For citation: Umarov M.M., Skrypnikov A.V., Lomakin D.V., Mikova E.Yu. Calculation of Planned Elements of a Clothoid Route Composed on the Terrain Stereomodel. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2018, no. 4, pp. 97–106. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.97

2. Kozlov V.G., Umarov M.M., Chernyshova E.V., Chan Van Zy. Analiz transportnogo potoka dlya formirovaniya bazisa upravleniya dorozhnym dvizheniyem pri perevozke грузов dlya agropromyshlennogo kompleksa [Analysis of the Traffic Flow for the Formation of a Basis for Traffic Management when Transport of Goods for the Agro-Industrial Complex]. *Materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Sistemnyy analiz i modelirovaniye protsessov upravleniya kachestvom v innovatsionnom razvitiy agropromyshlennogo kompleksa», 08–09 apr. 2015 g.* [Proc. Intern. Sci. Practical Conf. “System Analysis and Modeling of Quality Management Processes in the Innovative Development of the Agro-Industrial Complex”, 08–09 April 2015]. Voronezh, VSUET Publ., 2015, pp. 95–104. (In Russ.)

3. Nikitin V.V., Kozlov V.G., Arutyunyan A.Yu., Umarov M.M. Imitatsionnaya model' funktsionirovaniya lesovoznoy avtomobil'noy dorogi [Simulation Modeling of Hauling Road Function]. *Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2016, vol. 20, no. 2, pp. 167–172.

4. Skrypnikov A.V., Umarov M.M., Arutyunyan A.Yu., Chernyshova E.V. Analiz metodov otsenki nadezhnosti slozhnykh tekhnicheskikh kompleksov [The Analysis of Methods of Reliability Evaluation of Complex Technical Aggregates]. *Materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Sistemnyy analiz i modelirovaniye protsessov upravleniya kachestvom v innovatsionnom razvitiy agropromyshlennogo kompleksa», 08–09 apr. 2015 g.* [Proc. Intern. Sci. Practical Conf. “System Analysis and Modeling of Quality Management Processes in the Innovative Development of the Agro-Industrial Complex”, 08–09 April 2015]. Voronezh, VSUET Publ., 2015, pp. 76–81. (In Russ.)

5. Skrypnikov A.V., Umarov M.M., Arutyunyan A.Yu., Chernyshova E.V. Metodika obespecheniya zadannogo urovnya nadezhnosti funktsionirovaniya kompleksnogo tekhnicheskogo obespecheniya [Technique of Providing a Reliability Objective of Functioning of Integrated Technical Support]. *Materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Sistemnyy analiz i modelirovaniye protsessov upravleniya kachestvom v innovatsionnom razvitiy agropromyshlennogo kompleksa», 08–09 apr. 2015 g.* [Proc. Intern. Sci. Practical Conf. “System Analysis and Modeling of Quality Management Processes in the Innovative Development of the Agro-Industrial Complex”, 08–09 April 2015]. Voronezh, VSUET Publ., 2015, pp. 594–599. (In Russ.)

6. Skrypnikov A.V., Umarov M.M., Arutyunyan A.Yu., Chernyshova E.V. Opre-deleniye nadezhnosti funktsionirovaniya kompleksnogo tekhnicheskogo obespecheniya na osnove parametricheskikh metodov [Determination of Functioning Reliability of Integrated Technical Support on the Basis of Parametric Methods]. *Materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Sistemnyy analiz i modelirovaniye protsessov upravleniya kachestvom v innovatsionnom razvitiy agropromyshlennogo kompleksa», 08–09 apr. 2015 g.* [Proc. Intern. Sci. Practical Conf. “System Analysis and Modeling of Quality Management Processes in the Innovative Development of the Agro-Industrial Complex”, 08–09 April 2015]. Voronezh, VSUET Publ., 2015, pp. 582–587. (In Russ.)

7. Skrypnikov A.V., Umarov M.M., Arutyunyan A.Yu., Chernyshova E.V. Sposoby otsenki trebuyemogo urovnya nadezhnosti funktsionirovaniya kompleksnogo tekhnicheskogo obespecheniya [Estimation Methods of the Functioning Reliability Goal of Integrated Technical Support]. *Materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Sistemnyy analiz i modelirovaniye protsessov upravleniya kachestvom v innovatsionnom razvitiy agropromyshlennogo kompleksa», 08–09 apr. 2015 g.* [Proc. Intern. Sci. Practical Conf. “System Analysis and Modeling of Quality Management Processes in the Innovative Development of the Agro-Industrial Complex”, 08–09 April 2015]. Voronezh, VSUET Publ., 2015, pp. 587–594. (In Russ.)

8. Skrypnikov A.V., Umarov M.M., Chernyshova E.V. Rol' sostoyaniya lesovoznykh avtomobil'nykh dorog v obespechenii udobstva i bezopasnosti dvizheniya v neblagopriyatnyye periody goda [Role of the State of Forest Highways in Ensuring Convenience and Traffic Safety during the Adverse Periods of the Year]. *Nauka. Tekhnologii. Proizvodstvo* [Science. Technology. Production], 2015, no. 2(6), pp. 66–68.

9. Chernyshova E.V. Metody formirovaniya tsifrovoy modeli mestnosti pri trassirovaniy lesovoznykh avtomobil'nykh dorog [Methods of Forming a Digital Terrain Model for Tracing Forest Roads]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii* [Systems. Methods. Technologies], 2017, no. 3(35), pp. 143–148.

10. Antopolskii A.B. The Infosphere of Social Sciences: Structure, Boundaries, and Functions. *Scientific and Technical Information Processing*, 2017, vol. 44, iss. 2, pp. 87–93.

11. Skrypnikov A., Dorokhin S., Kozlov V.G., Chernyshova E.V. Mathematical Model of Statistical Identification of Car Transport Informational Provision. *ARP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2017, vol. 12, iss. 2, pp. 511–515.

Received on March 07, 2018



МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 674.02

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.107

РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ РАСКРОЯ ПИЛОВОЧНОГО СЫРЬЯ

В.Р. Фергин, д-р техн. наук, проф. (Россия, г. Мытищи)

e-mail: v.fergin@gmail.com

Теоретически установлено, что при раскросе с брусовкой оптимальный диаметр бревна зависит не только от заданной толщины бруса, но и от геометрических параметров бревна: длины и среднего сбега. При этом отношение заданной толщины бруса к оптимальному диаметру бревна отличается от классического, а сечение бруса максимального объема не является квадратным. Для практических расчетов оптимальных диаметров бревен при брусовой раскросе получены простые формулы. При раскросе пиловочного сырья с брусовой толщина бруса соответствует ширине обрезных досок полной длины, которая определяется согласно спецификации производимых на лесопильном предприятии пиломатериалов. Именно для выработки этих толстых досок, получаемых из пропиленной пласти бруса, используется основная часть объема пиловочных бревен. Зона двухкантного бруса, ограниченная величиной пропиленной пласти в верхнем торце, представляет собой четырехкантный брус, из которого и получают обрезные доски полной длины, равной длине бревна. Стремление обеспечить наибольшую эффективность при выпилке таких досок из четырехкантного бруса, вписанного в окружность верхнего торца бревна, очевидно. Тогда коэффициент объемного выхода этого бруса из бревна должен быть максимальным. В статье методами математического анализа решается задача оптимизации диаметра бревен и относительных размеров бруса по толщине и ширине по отношению к оптимальному диаметру бревна, при котором коэффициент объемного выхода четырехкантного бруса достигает максимума.

Ключевые слова: лесопиление, пиловочное сырье, раскрой бревен на пиломатериалы, четырехкантный брус, обрезная доска, раскрой с брусовкой, коэффициент объемного выхода пиломатериалов.

Введение

Теория раскросы пиловочного сырья – это научное направление, которое устанавливает закономерности выхода пилопродукции из бревен с максимальной эффективностью использования древесины [1].

Основоположником этой теории считается математик Х.Л. Фельдман, разработавший в 30-х гг. прошлого столетия системы максимальных поставок. Им впервые определены оптимальные размеры пиломатериалов для основных схем раскросы бревен с брусовой и в развал по критерию геометриче-

ского выхода досок (отношению суммарной площади их сечений к площади сечения верхнего торца бревна).

В дальнейшем значительный вклад в теорию раскроя был внесен Д.Ф. Шапиро, Г.Г. Титковым, М.Н. Гутерманом, В.А. Залгаллером, Н.А. Батыным, Г.Д. Власовым.

В последние десятилетия теорию раскроя совершенствовали П.П. Аксенов, А.Н. Песоцкий, Р.Е. Калитеевский, В.Ф. Ветшева, В.Г. Турушев, А.А. Пижурин, С.Н. Рыкунин, В.С. Шалаев, М.С. Розенблит, А.М. Копейкин, В.С. Петровский, А.А. Янушкевич, В.Г. Уласовец, А.Е. Алексеев, И.В. Соболев, Д.В. Иванов, А.К. Курицын, Б.И. Кошуняев, Л.В. Алексеева, О.И. Шако и др. Большинство работ этих ученых было посвящено увеличению эффективности раскроя пиловочного сырья, исследованиям качества пиловочного сырья и пиломатериалов.

В настоящей статье представлены разработанные автором теоретические основы повышения коэффициента объемного выхода наиболее ценных досок полной длины (равной длине бревна), для производства которых используется большая часть ресурсов пиловочного сырья.

Цель исследования – получение аналитическими методами для заданных размеров брусьев и досок полной длины соотношений, позволяющих определять оптимальные диаметры бревен при их раскрое с брусовкой.

Объекты и методы исследования

В условиях лесопильного производства при групповом раскрое пиловочного сырья заданным поставом распиливаются бревна одной сортировочной группы в определенном диапазоне их верхних диаметров. При этом параметры поставы постоянны, переменной величиной является диаметр поступающих в распиловку бревен.

При раскрое с брусовкой из бревна выпиливается двухкантный брус, толщина которого равна ширине получаемых из него обычно толстых досок. Зона двухкантного бруса, ограниченная величиной пропиленной пласти в верхнем торце, представляет собой четырехкантный брус, из которого и получают обрезные доски полной длины, равной длине бревна. Очевидно стремление обеспечить наибольшую эффективность при выпилке таких досок из четырехкантного бруса, вписанного в окружность верхнего торца бревна. Тогда коэффициент объемного выхода четырехкантного бруса из бревна будет максимальным [2, 3, 8, 11–13].

При заданной толщине четырехкантного бруса в диапазоне диаметров сортировочной группы бревен его объем растет с возрастанием диаметра бревна из-за увеличения пропиленной пласти в верхнем торце (т. е. ширины бруса), в которую вписываются доски полной длины. Это изменение объема бруса фиксированной толщины с увеличением диаметра бревна происходит по закону, близкому к линейному, тогда как объем бревна растет по квадратичному закону.

Таким образом, при некотором диаметре бревна возможен экстремум коэффициента объемного выхода бруса. Возникает задача оптимизации диаметра бревен и относительных размеров бруса по толщине и ширине по отношению к оптимальному диаметру бревна, при котором коэффициент объемного выхода четырехкантного бруса достигает максимума.

При расчете коэффициента выхода пиломатериалов объем бревна может определяться по сложным формулам, которые представляют его геометрическую модель в виде усеченного параболоида вращения второго порядка [1]. Объем бревна можно также рассчитывать при заданном верхнем диаметре и постоянном среднем сбеге, исходя из простейшей модели в виде усеченного конуса [2–5, 7].

В лесной таксации и практике лесопиления объем бревна определяется как объем эквивалентного цилиндра с поперечным сечением, площадь которого вычисляется по срединному или по концевым сечениям бревна. Формулы для расчета объема бревна имеют следующий вид:

по срединному сечению

$$V_{\text{бр}} = \frac{\pi L}{16} (4d^2 + 4dsL + s^2 L^2); \quad (1)$$

по концевым сечениям

$$V_{\text{бр}} = \frac{\pi L}{8} (2d^2 + 2dsL + s^2 L^2),$$

где L – длина бревна;

d – верхний (вершинный) диаметр бревна;

s – средний сбег бревна, $s = \frac{D-d}{L}$;

D – нижний (комлевой) диаметр бревна.

Примем метод определения объема бревен для усеченного конуса по его срединному сечению (формула (1)), он обеспечивает меньшие ошибки относительно табличных объемов по ГОСТу.

Коэффициент объемного выхода k выпиленного сырого четырехкантного бруса толщиной H и шириной M пропиленной пласти в верхнем торце бревна (шириной бруса)

$$k = \frac{V}{V_{\text{бр}}} = \frac{16MHL}{\pi L(4d^2 + 4dsL + s^2 L^2)}, \quad (2)$$

где V – объем четырехкантного бруса, $V = MHL$.

Известно, что ширина пропиленной пласти бруса в верхнем торце бревна

$$M = \sqrt{d^2 - H^2},$$

тогда функция коэффициента выхода бруса $k = f(d)$ согласно (2) имеет следующий вид:

$$k = \frac{16LH\sqrt{d^2 - H^2}}{\pi L(4d^2 + 4dsL + s^2 L^2)}. \quad (3)$$

Для заданной толщины бруса определим оптимальный диаметр бревна, при котором максимизируется коэффициент объемного выхода бруса. Возьмем первую производную функции коэффициента выхода по диаметру бревна (3) и приравняем ее к нулю:

$$\frac{dk}{dd} = \frac{16H\pi d}{\sqrt{d^2 - H^2}} (4d^2 + 4dsL + s^2 L^2) - 16H\pi\sqrt{d^2 - H^2} (8d + 4sL) \\ \frac{dk}{dd} = \frac{16H\pi d}{\pi^2 (4d^2 + 4dsL + s^2 L^2)^2} = 0.$$

После преобразований получим кубическое уравнение

$$-4d^3 + 8dH^2 + 4sLH^2 + ds^2L^2 = 0,$$

или

$$d^3 - H^2(2d + sL) - \frac{1}{4}ds^2L^2 = 0.$$

Отсюда толщина бруса будет связана с оптимальным диаметром бревна соотношением

$$H = \sqrt{\frac{4d^2 - s^2L^2}{4(2d + sL)}} d = \sqrt{\frac{2d^2 - dsL}{4}} = \frac{1}{2}\sqrt{2d^2 - dsL}. \quad (4)$$

Видно, что при $s = 0$ (цилиндрическая модель бревна)

$$H = \frac{1}{2}\sqrt{2d^2} = \frac{\sqrt{2}}{2}d \approx 0,707d.$$

Здесь отношение толщины выпиленного бруса к оптимальному диаметру цилиндрического бревна равно 0,707, что не противоречит выводам классической теории раскря бревен. При этом сечение бруса – квадрат [1–5, 7].

Если геометрической моделью бревна служит усеченный конус, то при заданном значении толщины бруса оптимальный диаметр бревна уже не связан со сторонами сечения бруса классическими отношениями. Тогда при $s > 0$ согласно выражению (4) для оптимального диаметра бревна $H < 0,707d$. Следовательно, сечение бруса будет прямоугольным [8].

Из формулы (4) очевидно, что ширина бруса не является мнимым числом при неотрицательности подкоренного выражения, т. е. функция определена в области действительных положительных чисел при условии, когда $d \geq \frac{1}{2}sL$.

Первая производная функции $H(d)$:

$$\frac{dH}{dd} = \frac{4d - sL}{4\sqrt{2d^2 - dsL}}. \quad (5)$$

Тогда

$$\lim_{d \rightarrow \frac{1}{2}sL} \frac{dH}{dd} = \infty; \quad \lim_{d \rightarrow \infty} \frac{dH}{dd} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

(при расчете второго предела производной при $d \rightarrow \infty$ принято $s \rightarrow 0$).

График функции $H(d)$, построенный по формуле (4), соответствует нижней кривой, отражающей характер этой функции на рис. 1.

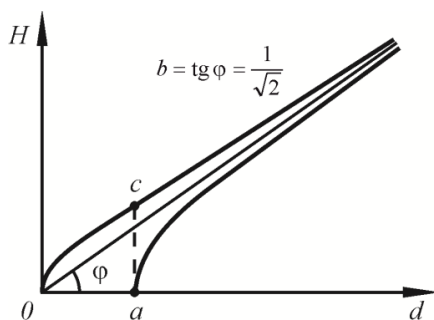


Рис. 1. График функции двойственной толщины бруса $H(d)$

Из полученных пределов производной (5) имеем угловой коэффициент кривой $H(d)$: $b = \operatorname{tg}\varphi = \infty$ при $H = 0$ в т. a с координатой $a = \frac{1}{2}sL$, т. е. в этой точке кривая $H(d)$ перпендикулярна к оси абсцисс. При возрастании диаметра d кривая $H(d)$ асимптотически приближается к прямой с угловым коэффициентом $b = \operatorname{tg}\varphi = \frac{1}{\sqrt{2}} \approx 0,707$ и проходит через начало координат под углом к оси абсцисс, равным примерно 35° . По существу на рис. 1 можно представить семейство кривых, отражающих зависимости толщины бруса от оптимального диаметра бревна $H(d)$, каждая из которых определяется геометрическими параметрами бревна (его длиной и сбегом).

Результаты исследования и их обсуждение

В практике лесопиления при производстве пиломатериалов заданных размеров в первую очередь задается толщина бруса. Она равна ширине досок полной длины, выпиленных из пласти бруса согласно спецификации пиломатериалов.

Из формулы (4) получим выражение для оптимального диаметра бревна при заданной толщине бруса, решая квадратное уравнение

$$2d^2 - dsL - 4H^2 = 0;$$

отсюда

$$d = \frac{sL}{4} + \sqrt{\frac{s^2L^2}{16} + 2H^2}. \quad (6)$$

Оптимальные диаметры бревен, а также оптимальные отношения номинальных размеров бруса к диаметру бревен для различных стандартных толщин бруса приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты расчетов оптимальных диаметров бревен

№ п/п	Номинальная толщина бруса, мм	Оптимальный диаметр бревна, мм	Оптимальное отношение		Рекомендуемый диапазон диаметров бревен, см	Минимальная ширина пласти бруса, мм
			H/d	$H_{\text{ном}}/d$		
1	75	125	0,620	0,600	13...16	105
2	100	161	0,640	0,620	16...20	122
3	125	198	0,650	0,630	20...23	153
4	150	234	0,660	0,640	23...27	170
5	175	273	0,660	0,641	27...31	201
6	200	310	0,661	0,645	31...35	232
7	225	347	0,665	0,648	35...38	262
8	250	382	0,670	0,654	38...42	280
9	275	423	0,665	0,650	42...46	310
10	300	460	0,667	0,652	46	341

Приняты: длина бревен $L = 6$ м, средний сбег: $s = 1$ см/м (в диапазоне диаметров бревен 14...25 см), $s = 1,2$ см/м (в диапазоне 26...40 см), $s = 1,5$ см/м (при диаметрах свыше 40 см). При расчете оптимальных диаметров бревен

учитывалась усушка по толщине бруса для древесины хвойных пород при транспортной влажности [6, 10].

Из результатов расчетов следует, что оптимальные отношения номинальных размеров сухого бруса к диаметру бревен ($H_{\text{ном}}/d$) для среднемерного сырья (диаметр 14...25 см) составляют 0,60...0,64, для крупномерного сырья (свыше 25 см) – 0,64...0,65.

Доказательством того, что для всех вариантов, указанных в табл. 1, обеспечивается максимум коэффициента объемного выхода бруса, является отрицательность значений вторых производных функции (4).

Для практических расчетов оптимальных диаметров бревен без существенного ущерба для точности может быть рекомендована приближенная линеаризованная формула на основе выражения (6):

$$d = \sqrt{2}H + \frac{1}{4}sL. \quad (7)$$

Подставляя толщину бруса с усушкой (в миллиметрах), длину бревна (в метрах) и его средний сбеги (в сантиметрах на метр), получим простую формулу для практических расчетов оптимальных диаметров бревен (в миллиметрах):

$$d = 2,5sL + 1,414(H_{\text{ном}} + y_H), \quad (8)$$

где y_H – усушка по толщине бруса до транспортной влажности.

Из формулы (7) определим оптимальную толщину бруса:

$$H = \frac{\sqrt{2}}{2}d - \frac{\sqrt{2}}{8}sL. \quad (9)$$

Так как сумма квадратов ширины поставка для досок полной длины и толщины бруса равна квадрату диаметра бревна, то с учетом формулы (4) имеем:

$$M^2 + H^2 = M^2 + \frac{1}{4}(2d^2 - dsL) = d^2.$$

Отсюда получим выражение для ширины поставка при оптимальном диаметре бревна:

$$M = \sqrt{d^2 - \frac{1}{4}(2d^2 - dsL)} = \frac{1}{2}\sqrt{2d^2 + dsL}, \quad (10)$$

а из выражения (10) – приближенные линеаризованные формулы:

$$d = \sqrt{2}M + \frac{1}{4}sL; \quad (11)$$

$$M = \frac{\sqrt{2}}{2}d + \frac{\sqrt{2}}{8}sL. \quad (12)$$

В формулах (9) и (12) первое слагаемое соответствует квадратному сечению бруса, второе – является поправкой, которая прямо пропорциональна длине бревна и его среднему сбеги. При среднем сбеги бревна, равном 0 (цилиндрическое бревно), поправка исключается.

Сопоставление формул (9) и (12) показало, что при оптимальном диаметре бревна разница между размерами четырехкантного бруса по ширине и толщине составляет $\frac{\sqrt{2}}{4}sL$.

Следует заметить, что формула (2) для коэффициента объемного выхода бруса обладает двойственностью. Если развернуть четырехкантный брус на 90° , то ширина пропиленной пласти станет его толщиной, а толщина бруса H будет соответствовать ширине пропиленной пласти M . При этом из четырехкантного бруса будут выпилены более широкие толстые доски, но их будет меньше, чем при более глубоком брус.

Тогда при заданной ширине постова M для досок полной длины изменятся отношения номинальных размеров бруса к оптимальным диаметрам бревен.

Оптимальные диаметры бревен могут быть найдены по формуле

$$d = \frac{sL}{4} + \sqrt{\frac{s^2 L^2}{16} + 2M^2}, \quad (13)$$

или приближенно:

$$d = \frac{sL}{4} + \sqrt{2}M; \quad M = \frac{\sqrt{2}}{2}d - \frac{\sqrt{2}}{8}sL. \quad (14)$$

Оптимальная двойственная толщина бруса по аналогии с формулой (10) будет определяться следующим образом:

$$H = \sqrt{d^2 - \frac{1}{4}(2d^2 - dsL)} = \frac{1}{2}\sqrt{2d^2 + dsL}. \quad (15)$$

График функции двойственной толщины бруса $H(d)$, построенный по формуле (15), показан на рис. 1 (верхняя кривая), он начинается от 0 и далее с ростом диаметра асимптотически приближается к прямой. Здесь нижняя кривая будет соответствовать ширине более глубокого бруса. Поэтому двойственная толщина бруса не должна быть меньше, чем в т. с (рис. 1), т. е. $H > 0,5sL$. Это условие всегда должно выполняться в расчетах для реальных исходных данных.

Достаточно точные формулы для оптимального диаметра бревен и двойственной толщины бруса будут аналогичны формулам (9) и (10):

$$d = \sqrt{2}H - \frac{sL}{4}; \quad H = \frac{\sqrt{2}}{2}d + \frac{\sqrt{2}}{8}sL. \quad (16)$$

В табл. 2 для двойственной толщины бруса указаны: размеры некоторых толстых досок, выпиливаемых из бруса; рассчитанные оптимальные

Таблица 2

**Результаты расчетов оптимальных диаметров бревен
(для двойственного бруса)**

Постав	Ширина постова, мм	Оптимальный диаметр бревна, мм	Номинальная толщина бруса, мм	Оптимальное отношение	
				$H_{\text{ном}}/d$	H/d
40-40	86	134	100	0,75	0,77
50-50	107	166	125	0,75	0,77
40-40-40	131	202	150	0,74	0,76
50-40-40	151	234	175	0,75	0,76
60-40-60	173	268	200	0,75	0,76
60-75-60	209	312	225	0,72	0,74
75-75-75	241	342	250	0,73	0,75
60-60-60-60	260	384	275	0,72	0,73
50-50-60-50-50	284	420	300	0,72	0,73

диаметры бревна; подобранные стандартные толщины бруса и отношения толщин бруса к диаметру бревна. Отношения номинальных толщин бруса к оптимальным диаметрам бревен составляют 0,72...0,75, для сырого бруса – 0,73...0,77.

Ниже приведены примеры расчетов для различных толщин бруса [9].

Пример 1. Задана номинальная толщина бруса $H_{\text{ном}} = 125$ мм. Толщина сырого бруса из древесины хвойных пород с учетом усушки и распиловочного припуска $H = 128$ мм. Такой брус может быть выпилен из среднемерного пиловочного сырья. Примем длину бревна $L = 6$ м, средний сбег $s = 1$ см/м. При вписывании в верхний торец бревна бруса квадратного сечения верхний диаметр бревна составит 181 мм. Согласно расчетам, коэффициент объемного выхода бруса номинальной толщины с квадратным сечением $k = 43,9$ % (объем бревна определялся по формуле (1)).

Оптимальный диаметр бревна вычисляется по формуле (8): $d = 196$ мм.

Для этого диаметра бревна ширина сырого бруса $M = 148$ мм, а коэффициент объемного выхода сухого бруса прямоугольного сечения (при транспортной влажности 20 %) $k = 44,9$ %. При этом отношение номинальной толщины бруса к оптимальному диаметру бревна $H_{\text{ном}}/d = 0,638$.

На рис. 2 показан график зависимости коэффициента объемного выхода сухого бруса от диаметров бревен (градация диаметров через 2 мм). Согласно расчетным данным и графику, при оптимальном диаметре бревна 196 мм коэффициент объемного выхода бруса превышает на 1,0 % коэффициент выхода бруса квадратного сечения при диаметре бревна 182 мм.

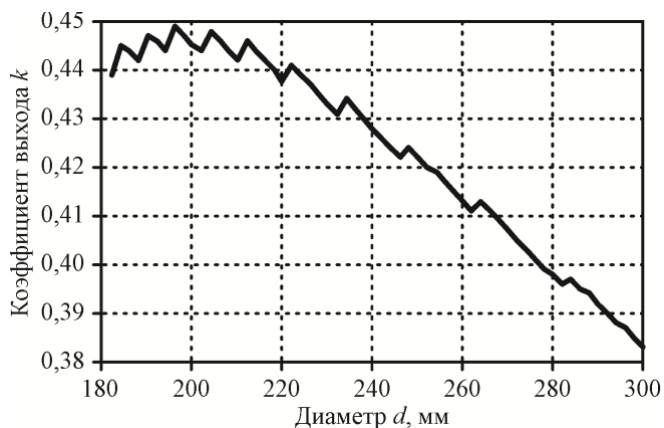


Рис. 2. График зависимости коэффициента объемного выхода сухого бруса от диаметра бревна ($d > 180$ мм)

Толщина двойственного сырого бруса равна 148 мм, а ширина – 128 мм, оптимальный диаметр бревна – 196 мм (по формулам (16)), коэффициент объемного выхода сухого бруса – 44,9 %.

Пример 2. Задана номинальная толщина бруса $H_{\text{ном}} = 250$ мм. Толщина сырого бруса из древесины хвойных пород с учетом припусков $H = 257$ мм. Такой брус может быть выпилен из крупномерного пиловочного сырья, приняты длина бревна $L = 6$ м, средний сбег $s = 1,2$ см/м. Для бруса квадратного сечения верхний диаметр бревна составит 364 мм.

Коэффициент объемного выхода квадратного бруса номинальной толщины $k = 49,6$ %. Оптимальный диаметр бревна вычисляем по формуле (8): $d = 382$ мм. При этом ширина сырого бруса $M = 282$ мм, а коэффициент объ-

емного выхода сухого бруса прямоугольного сечения $k = 49,9 \%$. Отношение номинальной толщины бруса к оптимальному диаметру бревна – $H_{\text{ном}}/d = 0,655$.

На рис. 3 приведен график зависимости коэффициента объемного выхода сухого бруса от диаметров бревен (градация диаметров через 2 мм).

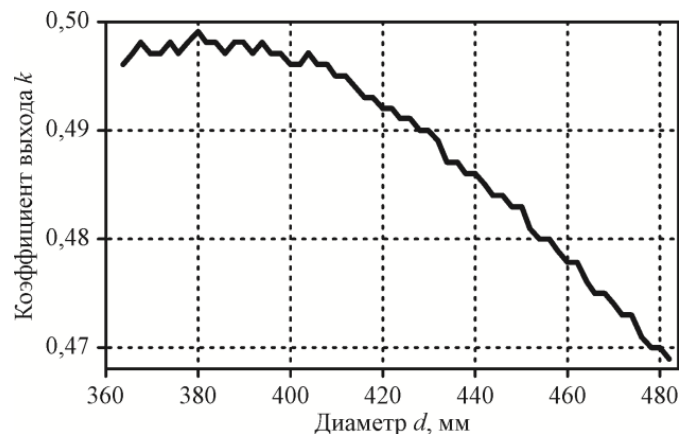


Рис. 3. График зависимости коэффициента объемного выхода сухого бруса от диаметра бревна ($d > 360$ мм)

Согласно расчетным данным и графику, коэффициент объемного выхода бруса при оптимальном диаметре бревна 380 мм превышает на 0,3 % коэффициент выхода бруса квадратного сечения при диаметре бревна 364 мм.

Толщина двойственного сырого бруса равна 282 мм, ширина – 258 мм, оптимальный диаметр бревна – 382 мм, коэффициент объемного выхода сухого бруса – 49,9 %.

Заключение

Исходя из разработанных положений, развивающих отдельные аспекты теории раскря пиловочного сырья, можно сформулировать следующие практические рекомендации по совершенствованию лесопильного производства.

Для обеспечения максимума коэффициента объемного выхода бруса при раскря с брусом минимальный диаметр бревен в сортировочной группе при заданных значениях толщины бруса следует назначать близким к оптимальному диаметру, который рассчитывается по полученным выше формулам. Окончательно минимальный диаметр бревен в сортировочной группе должен уточняться по ширине постава для досок полной длины, вписанных в пласть бруса по его ширине.

Концепция двойственности оптимальной толщины бруса также имеет практическое значение. Например, если по спецификации пиломатериалов необходима выпилка более широких досок полной длины, то следует рекомендовать поставки с брусом двойственной толщины.

Положения, изложенные выше, применимы при раскря пиловочного сырья с брусом на лесопильных рамах, круглопильных и сдвоенных ленточнопильных станках, а также на однопильных ленточнопильных станках при круговом способе раскря бревен.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аксенов П.П., Макарова Н.С., Прохоров И.К., Тюкина Ю.П.* Технология пиломатериалов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Лесн. пром-сть, 1976. 480 с.
2. *Алексеев А.Е., Алексеева Л.В.* Организация малых лесопильных предприятий: моногр. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2007. 732 с.
3. *Калитеевский Р.Е.* Лесопиление в XXI веке. Технология, оборудование, менеджмент. СПб.: ПРОФИ-ИНФОРМ, 2005. 480 с.
4. *Рыкунин С.Н., Тюкина Ю.П., Шалаев В.С.* Технология лесопильно-деревообрабатывающих производств. М.: МГУЛ, 2005. 226 с.
5. *Турушев В.Г., Иванов Д.В.* Технология и оборудование для обработки пиломатериалов и подготовки их к реализации. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2002. 120 с.
6. *Уголев Б.Н.* Древесиноведение и лесное товароведение. М.: МГУЛ, 2007. 352 с.
7. *Уласовец В.Г.* Технологические основы производства пиломатериалов. Екатеринбург: УГЛТУ, 2002. 510 с.
8. *Фергин В.Р.* К теории раскроя пиловочного сырья // *Деревообраб. пром-сть*. 2009. № 6. С. 5–8.
9. *Шако О.И.* Модель и программа расчета поставов для раскроя бревен на обрезные пиломатериалы заданных размеров // *Технология и оборудование для переработки древесины: науч. тр. Вып. 326*. М.: МГУЛ, 2005. С. 37–40.
10. *Бльскова Г.* Древесиноведение. София: ЛТУ, 2003. 287 с.
11. *Brown T.D.* Determining Lumber Target Sizes and Monitoring Sawing Accuracy // *Forest Products Journal*. 1979. Vol. 29, no. 4. Pp. 48–54.
12. *Bowyer J.I., Shmulsky R., Haygreen J.G.* Forest Products and Wood Science: an Introduction. USA: Iowa State Press, 2003. 554 p.
13. *Fergin V.R.* Optimization of Sawwood Production by Means of Mathematical Programming // *Scientific Reports from the Agricultural College of Norway*. 1978. Vol. 57, no. 14. 20 p.

Поступила 17.01.18

UDC 674.02

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.107

Development of the Sawing Process Theory

V.R. Fergin, *Doctor of Engineering Sciences, Professor* (Mytishchi, Russian Federation)
e-mail: v.fergin@gmail.com

When slabbing, the optimal diameter of the log depends not only on the given thickness of the beam, but also on the geometric parameters of the log: length and average taper. In this case, the ratio of the specified thickness of the beam to the optimal diameter of the log differs from the classical one, and the cross-section of a beam of a maximum volume is not square. For practical calculations of the optimal log diameters for the beam-cutting method, short formulas are obtained. When cutting saw logs with slabbing, the thickness of the beam corresponds to the width of edging boards of full length, which is determined according to the specification of sawn timber produced at the sawmill. The bulk of the sawlogs is used for the production of these thick boards, obtained from the sawed beam face. The area of a double-edged timber, limited by the size of the sawed face in the upper end, is a four-edged beam, from which the edged boards of the total length equal to the length of the log are pro-

For citation: Fergin V.R. Development of the Sawing Process Theory. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2018, no. 4, pp. 107–117. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.107

duced. The desire to ensure the greatest efficiency when sawing out such boards of four-edged cant, inscribed in the circumference of the upper end of the log, is obvious. Then the coefficient of the board output from the saws should be maximum. By the methods of mathematical analysis the paper solves the problem of optimizing the diameter of logs and the relative dimensions of the beam in terms of thickness and width relative to the optimal diameter of the log, at which the coefficient of the volume yield of the four-cant timber reaches a maximum.

Keywords: sawmilling, saw logs, sawing process, four-edged cant, edged board, slabbing, relative log-scale factor.

REFERENCES

1. Aksenov P.P., Makarova N.S., Prokhorov I.K., Tyukina Yu.P. *Tekhnologiya pilomaterialov* [Lumber Technology]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1976. 480 p. (In Russ.)
2. Alekseev A.E., Alekseeva L.V. *Organizatsiya malykh lesopil'nykh predpriyatiy: monogr.* [Small Sawmills Organization]. Arkhangelsk, ASTU Publ., 2007. 732 p. (In Russ.)
3. Kaliteevskiy R.E. *Lesopilenie v XXI veke. Tekhnologiya, oborudovanie, menedzhment* [Sawmill in the 21st Century. Technology, Equipment, Management]. Saint Petersburg, PROFI-INFORM Publ., 2005. 480 p. (In Russ.)
4. Rykunin S.N., Tyukina Yu.P., Shalaev V.S. *Tekhnologiya lesopil'no-derevoobrabatyvayushchikh proizvodstv* [Technology of Sawmilling and Woodworking Industries]. Moscow, MSFU Publ., 2005. 226 p. (In Russ.)
5. Turushev V.G., Ivanov D.V. *Tekhnologiya i oborudovaniye dlya obrabotki pilomaterialov i podgotovki ikh k realizatsii* [Technology and Equipment for Lumber Processing and Preparing Them for Sales]. Arkhangelsk, ASTU Publ., 2002. 120 p. (In Russ.)
6. Ugolev B.N. *Drevesinovedenie i lesnoe tovarovedenie* [Wood Science and Forest Commodity Science]. Moscow, MSFU Publ., 2007. 352 p. (In Russ.)
7. Ulasovets V.G. *Tekhnologicheskie osnovy proizvodstva pilomaterialov* [Technological Fundamentals of Lumber Production]. Yekaterinburg, USFEU Publ., 2002. 510 p. (In Russ.)
8. Fergin V.R. K teorii raskroya pilovochnogo syr'ya [On the Sawing Process Theory]. *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'* [Woodworking Industry], 2009, no. 6, pp. 5–8.
9. Shako O.I. Model' i programma rascheta postavov dlya raskroya breven na obreznyye pilomaterialy zadannykh razmerov [The Model and Program for Sawing Pattern Calculating of Log Cutting for Square Edged Timber of Target Sizes]. *Tekhnologiya i oborudovanie dlya pererabotki drevesiny: nauch. tr. Vyp. 326* [Technology and Equipment for Wood Processing. Issue 326]. Moscow, MSFU Publ., 2005, pp. 37–40. (In Russ.)
10. Bl'skova G. *D''rvesinoznaniye* [Wood Science]. Sofia, LTU Publ., 2003. 287 p.
11. Brown T.D. Determining Lumber Target Sizes and Monitoring Sawing Accuracy. *Forest Products Journal*, 1979, vol. 29, no. 4, pp. 48–54.
12. Bowyer J.I., Shmulsky R., Haygreen J.G. *Forest Products and Wood Science: an Introduction*. USA, Iowa State Press, 2003. 554 p.
13. Fergin V.R. Optimization of Sawwood Production by Means of Mathematical Programming. *Scientific Reports from the Agricultural College of Norway*, 1978, vol. 57, no. 14. 20 p.

Received on January 17, 2018

УДК 674.038.3

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.118

**ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ
ГИБРИДНЫХ БРУСЬЕВ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ****Ю.В. Немировский, д-р физ.-мат. наук, проф.**А.И. Болтаев, асп.*

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет,
ул. Ленинградская, д. 113, г. Новосибирск, Россия, 630008;
e-mail: nemirov@itam.nsc.ru, boltaev_artem@mail.ru

Приводится решение проблемы определения напряженно-деформированного состояния гибридных (состоящих из разных пород древесины) деревянных брусьев. Поперечное сечение такого бруса – слоистое. Каждый его слой может изменять форму поперечного сечения в широких пределах, т. е. необходимо учитывать физическую нелинейность диаграмм деформирования слоев, а также разную их сопротивляемость растяжению и сжатию. В общем случае брус испытывает прямой поперечный изгиб с растяжением-сжатием. Сравниваются диаграммы деформирования для 6 пород древесины на растяжение-сжатие вдоль волокон. Полученные результаты показывают, что разные породы древесины совершенно по-разному сопротивляются растяжению и сжатию: одна порода лучше работает на растяжение (может испытывать большие предельные напряжения и деформации), другая – на сжатие. При одном уровне напряжений графики деформирования различных пород расположены близко друг к другу, при других – значительно расходятся. Данные расчетов гибридных брусьев демонстрируют значительные особенности деформирования и разрушения гибридных физически нелинейных брусьев по сравнению с однородными (состоящими из одной породы), материал которых подчиняется закону Гука. К этим особенностям относятся: значительное изменение величины предельной нагрузки и максимального прогиба при варьировании пород слоев; возможность возникновения скрытых механизмов разрушения, когда предельные продольные деформации достигаются во внутренних слоях бруса. Эти особенности деформирования и разрушения гибридных деревянных конструкций необходимо учитывать в процессе их производства.

Ключевые слова: слоистые конструкции, физическая нелинейность, гибридное проектирование, механизмы разрушения.

Введение

Клееные деревянные конструкции широко используются в нашей стране и за рубежом в качестве покрытий промышленных, складских и жилых зданий, разнообразных ферменных конструкций, элементов каркасных стержневых систем, междуэтажных перекрытий и ограждающих элементов высотных сооружений [1, 17, 18, 21–24]. Клееные конструкции имеют ряд существенных особенностей, которые отличают их от других однородных строительных конструкций и которые, безусловно, должны учитываться при их проектиро-

*Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 15-01-00825.

Для цитирования: Немировский Ю.В., Болтаев А.И. Особенности деформирования и разрушения гибридных брусьев из древесины // Лесн. журн. 2018. № 4. С. 118–131. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.118

вании. К ним прежде всего относятся монолитность клеевых конструкций при наличии в их составе широкой номенклатуры разнообразных пород древесины, размеров, форм поперечных сечений и расположения составляющих элементов, возможность эффективного использования элементов разного качества и местных пород древесины, простота технологической обработки при оформлении архитектурно-художественных экономически эффективных обликов зданий и сооружений.

При проектировании клееных деревянных конструкций важно учитывать наблюдаемую при испытаниях образцов разных пород древесины [3, 6, 7] существенную нелинейность, а также различие диаграмм растяжения-сжатия. Еще одним фактором, существенно влияющим на деформируемость и несущую способность монолитных клеевых стержневых элементов в условиях поперечного изгиба с растяжением-сжатием, является форма поперечного сечения. По условиям экономической доступности материалов, рациональным технологическим возможностям производства и требованиям эксплуатации при создании конструкций из клееной древесины могут понадобиться элементы с различными структурами гибридных (составленных из различных пород) сечений брусьев (рис. 1).

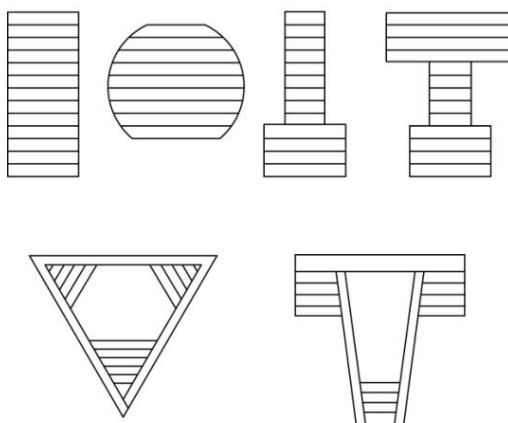


Рис. 1. Разнообразие форм поперечных сечений гибридных деревянных брусьев

Все перечисленные выше особенности строения и деформирования деревянных конструкций вызывают появление и изменение в процессе нагружения сложных неоднородных полей напряжений. Это в свою очередь не позволяет использовать для проектирования гибридных деревянных конструкций существующий метод расчета по предельным состояниям [8, 14], так как он опирается на экспериментальные данные, полученные для однородных (выполненных из одной породы) конструкций и для основных форм поперечного сечения (прямоугольное, круглое, двутавровое, коробчатое и др.).

Существующие методы расчета стержневых конструкций с учетом физической нелинейности [4, 5, 16, 19, 20] в основном рассматривают однородные конструкции и не уделяют должного внимания изучению особенностей деформирования такого сильно разносопротивляющегося материала, как древесина.

Общая теория изгиба слоистых гибридных стержневых систем до сих пор отсутствует. Некоторые ее начальные элементы, изложенные в [10, 11],

будут использоваться в данной работе для теоретического анализа особенностей деформирования и разрушения клеевых балок в условиях поперечного изгиба с растяжением-сжатием.

Цель исследования – определение напряженно-деформированного состояния гибридных деревянных брусев с разной сопротивляемостью древесины растяжению и сжатию.

Диаграммы деформирования древесины

На рис. 2, 3 приведены диаграммы кратковременных испытаний малых чистых образцов древесины различных пород на растяжение-сжатие вдоль волокон.

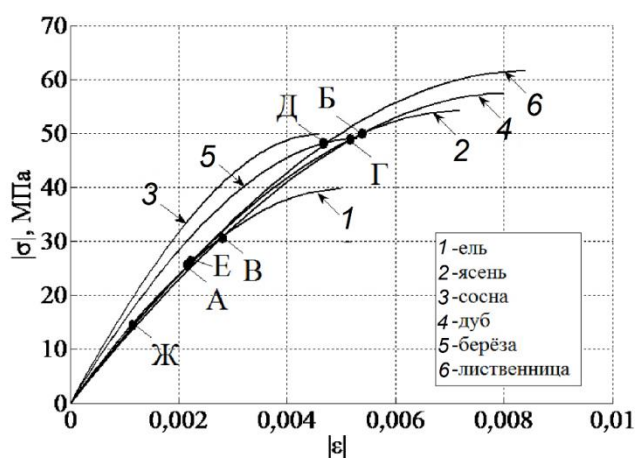


Рис. 2. Диаграммы сжатия древесины

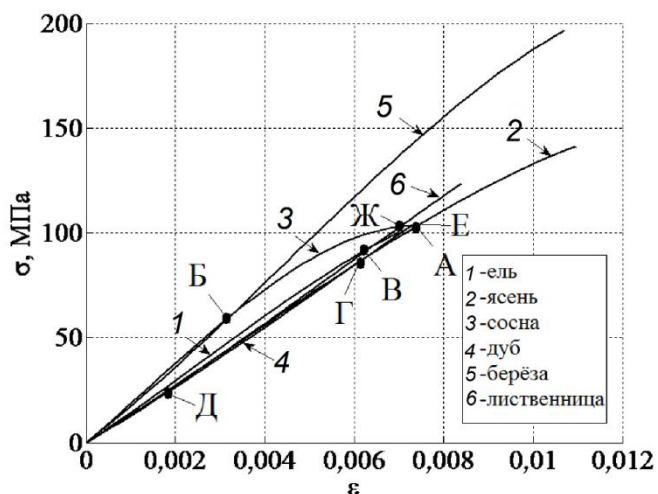


Рис. 3. Диаграммы растяжения древесины

Диаграммы построены по данным [2, 3, 6, 7, 13]. На них прописными буквами обозначены точки пересечения графиков, координаты которых приведены в табл. 1.

Таблица 1

Координаты точек пересечения графиков на диаграммах деформирования

Точка	Для диаграмм сжатия			Для диаграмм растяжения			
	Номера пересекающихся графиков	Координаты		Точка	Номера пересекающихся графиков	Координаты	
		$\varepsilon \cdot 10^{-3}$	$ \sigma $, МПа			$\varepsilon \cdot 10^{-3}$	σ , МПа
А	1 и 2	2,18	25,5	А	2 и 3	7,41	103,6
Б	2 и 4	5,39	50,0	Б	3 и 5	3,18	59,5
В	1 и 4	2,83	31,0	В	1 и 6	6,42	93,8
Г	5 и 2 (5 и 4)	5,19	49,0	Г	2 и 4	6,1	86,1
Д	5 и 6	4,74	48,3	Д	2 и 6	1,79	24,2
Е	1 и 6	2,06	24,4	Е	3 и 4	7,28	103,5
Ж	2 и 6	1,12	13,8	Ж	3 и 6	7,02	103,0

Анализируя диаграммы на рис. 2, 3, выделяем следующие характерные особенности деформирования древесины под нагрузкой:

1. При растяжении древесина деформируется линейно практически до самого разрушения, при сжатии уже в области средних напряжений начинает проявляться физическая нелинейность, которая возрастает по мере увеличения нагрузки.

2. Для одной и той же породы древесины пределы прочности на растяжение и сжатие различаются до 4 раз, максимальные деформации – до 2 раз.

3. При растяжении наибольшее напряжение возникает у березы (196,0 МПа), при сжатии – у лиственницы (61,5 МПа).

4. Тангенс угла наклона касательной к диаграмме деформирования в начале координат, определяющий модуль упругости, также значительно изменяется в зависимости от породы древесины (максимум в 1,45 раза).

5. Графики для пород, имеющих малые пределы прочности при сжатии (сосна, береза), лежат выше графиков для пород с высоким пределом прочности на сжатие. При этом в области максимальных напряжений эти диаграммы пересекаются (рис. 2, точки Д и Г).

6. Графики деформирования 1, 2, 4 и 6 при малых и средних напряжениях расположены достаточно близко друг к другу, но при дальнейшем увеличении напряжений некоторые из них значительно расходятся. Это же характерно для графиков 3 и 5.

Сравнение диаграмм показало, что разные породы древесины совершенно по-разному сопротивляются растяжению и сжатию: одна порода лучше работает на растяжение (может испытывать большие предельные напряжения и деформации), другая – на сжатие. При одних уровнях напряжений графики деформирования различных пород лежат близко друг к другу, при других – значительно расходятся. Все это является предпосылкой для создания из древесины гибридных конструкций, в которых рационально соединяются материалы с различными физико-механическими свойствами.

Определение напряженно-деформированного состояния гибридных брусьев

Брус представляет собой стержень, состоящий из нескольких слоев. Каждый слой может быть выполнен из различных материалов. Общее число слоев не ограничено, а их форма может изменяться в широких пределах (рис. 4).

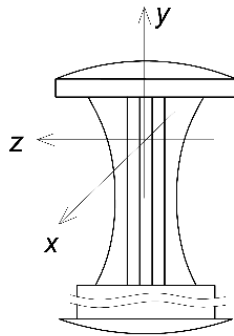


Рис. 4. Поперечное сечение стержня

Начало системы координат xyz помещаем в левый конец стержня. Плоскость xy – плоскость геометрической и физической симметрии стержня. Ось x совпадает с продольной осью стержня и имеет определенную геометрическую привязку к его поперечному сечению.

В общем случае стержень может иметь переменное по длине (по оси x) поперечное сечение. Условия контакта слоев считаются совершенными, когда отсутствуют взаимные смещения любого направления в плоскости контакта. Материал слоев считается условно гомогенным (без пороков), транслопным.

Вес и стоимость стержня:

$$V = \sum_{i=1}^{n_{\text{сл}}} \gamma_i \int_{V_i} dV_i; \quad C = \sum_{i=1}^{n_{\text{сл}}} c_i \int_{V_i} dV_i. \quad (1)$$

Здесь $n_{\text{сл}}$ – количество слоев;

γ_i – вес единицы объема материала (удельный вес);

c_i – стоимость 1 м³ материала i -го слоя.

Интегрирование в формуле (1) ведется по объему i -го слоя стержня.

В общем случае стержень испытывает прямой поперечный изгиб с растяжением-сжатием. Все нагрузки приведены к продольной оси стержня – оси x .

Деформации и перемещения будем считать малыми. Точка приложения вектора внутренних усилий лежит на оси стержня. Запишем уравнения равновесия для недеформированного состояния [15]:

$$\begin{aligned} \frac{dM_z}{dx} + Q_y + m_z &= 0; \\ \frac{dQ_y}{dx} + q_y &= 0; \quad \frac{dN}{dx} + q_x &= 0, \end{aligned} \quad (2)$$

где M_z – проекция вектора внутреннего момента на ось z ;

Q_y, N – проекции вектора внутренних усилий на оси x и y ;

m_z – проекция вектора распределенного момента на ось z ;

q_y, q_x – проекции вектора распределенной нагрузки, приложенной к оси стержня.

Принимаются справедливыми теория плоских сечений Бернулли и упрощенное выражение кривизны плоской кривой. В соответствии с данными ограничениями связь между деформациями и перемещениями стержня выражается следующими известными соотношениями [15]:

$$\begin{aligned} \varepsilon(x, y) &= \varepsilon_0(x) - \kappa y; \\ \kappa(x) &= \frac{d^2 w}{dx^2}; \quad \varepsilon_0(x) = \frac{du_0}{dx}. \end{aligned} \quad (3)$$

где ε_0 – продольная деформация на уровне оси стержня;
 κ – изменение кривизны оси стержня;
 w, u_0 – вертикальное и горизонтальное перемещение точек оси стержня.

Связь между нормальными напряжениями (σ_i) и деформациями (ε_i) i -го слоя выражается степенным многочленом [9]:

$$\sigma_i = \sum_{j=1}^3 E_{ij} \varepsilon_i^j; \quad -\varepsilon_{i*}^- \leq \varepsilon_i \leq \varepsilon_{i*}^+, \quad (4)$$

где E_{ij} – константы, зависящие от механических свойств i -го слоя стержня;
 ε_{i*}^\pm – предельно допустимые продольные деформации i -го слоя при растяжении (+) и сжатии (-).

Численные значения E_{ij} и ε_{i*}^\pm для различных пород древесины приведены в [11]. Использование кубической зависимости (4) позволяет учитывать характерную для дерева разносопротивляемость при растяжении и сжатии, а также нелинейный характер связи между σ_i и ε_i . При этом, если принять $E_{i2} = E_{i3} = 0$, то приходим к одноосному закону Гука.

Основываясь на выше приведенных положениях, в работе [11] была получена разрешающая система нелинейных алгебраических уравнений 3-й степени относительно двух неизвестных – κ и ε_0 :

$$\begin{cases} \sum_{t=0}^3 (-\kappa)^t \sum_{j=t}^3 C_j^t \varepsilon_0^{j-t} \sum_{i=1}^{n_{cl}} E_{ij} d_{it} = N; \\ \sum_{t=0}^3 (-\kappa)^t \sum_{j=t}^3 C_j^t \varepsilon_0^{j-t} \sum_{i=1}^{n_{cl}} E_{ij} d_{i(t+1)} = -M_z; \end{cases} \quad (5)$$

$$d_{it} = \int_{S_i} y^t dS_i; \quad C_j^t = \frac{j!}{t!(j-t)!}, \quad (6)$$

где S_i – площадь поперечного сечения i -го слоя стержня.

Коэффициенты $E_{i0} = 0$ введены для получения краткой и удобной для решения записи. В (6) интегрирование ведется по площади поперечного сечения i -го слоя стержня. Приняв $E_{ij} = 0$ ($j = 2, 3$), имеем определяющие уравнения для слоистого линейно-упругого стержня. Если при этом $n_{cl} = 1$, то приходим к уравнениям технической теории изгиба стержней [15].

Условие прочности задается соотношением

$$|\varepsilon_{i, \max}^{\pm}| \leq \varepsilon_{i*}^{\pm} \quad (i = 1 \dots n_{\text{сл}}), \quad (7)$$

где $\varepsilon_{i, \max}^{\pm}$ – максимальные продольные деформации растяжения (+) и сжатия (–) i -го слоя.

Проверка выполнения условия прочности осуществляется в каждом слое поперечного сечения для его верхних и нижних границ. Устойчивость стержня считается обеспеченной.

Получение решения системы (5) в аналитическом виде представляет значительные трудности. В связи с этим был разработан численный метод, основанный на методе наименьших квадратов [12]. Используя его, определим обобщенные деформации стержня – ε_0 и κ . После этого, интегрируя соотношения (3), найдем перемещения оси стержня, напряжения в слоях вычислим по формуле (4).

Примеры расчета гибридных брусьев

Расчетная схема однопролетной балки для первой серии расчетов приведена на рис. 5. Балка загружена равномерно распределенной нагрузкой интенсивностью q . Поперечное сечение – прямоугольное с размерами $b \times h = 200 \times 400$ мм. Балка имеет три слоя высотой h_1, h_2 и h_3 .

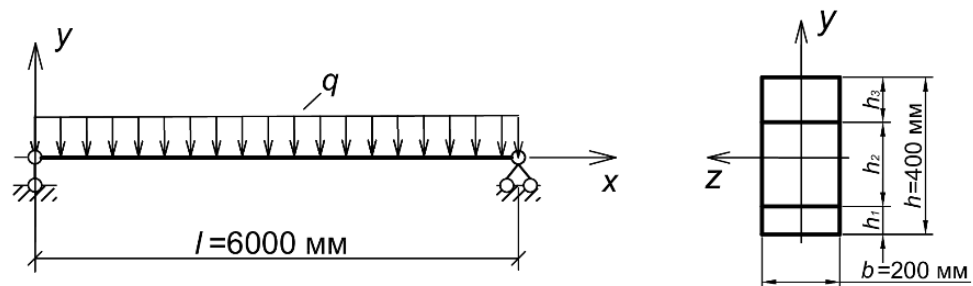


Рис. 5. Расчетная схема балки для первой серии расчетов

В первой серии расчетов будем изменять размеры и породы слоев. Используем те породы, для которых даны диаграммы деформирования на рис. 2, 3. Нумерация пород совпадает с нумерацией на рис. 2, 3. В каждом расчете будем загружать конструкцию до тех пор, пока в каком-либо слое максимальные деформации не достигнут предельных значений.

При данных условиях закрепления и характере нагрузки опасное сечение будет находиться в середине пролета. Волокна нижней части балки будут растянуты, верхней – сжаты.

Для выявления особенностей работы слоистой балки из разносопротивляющегося материала проведем расчеты по разным вариантам: в первом – все слои из сосны; во втором – в верхний слой помещена порода, лучше всего сопротивляющаяся сжатию, в нижний – растяжению; в третьем – меняем местами слои из второго расчета; в четвертом – верхний слой выполнен из породы, хуже всего работающей на сжатие, нижний – на растяжение; в пятом – средний слой из наиболее слабой породы.

Результаты расчетов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчета однопролетной балки

Вариант	Распределение пород	q_{\max} , кН/м	w_{\max} , см	Высота слоя, см			Номер слоя, в котором достигнуты предельные деформации	Вес балки, кН	Стоимость балки, р.	Степень нагружения нижних волокон, %
				h_1	h_2	h_3				
1	333	79	7,7	13,3	13,3	13,3	1	2,40	1005	53
2	6-5	108	12,9	20,0	0,0	20,0	1	3,08	912	56
3	5-6	76	9,2	20,0	0,0	20,0	1	3,08	912	58
4	1-1	65	8,3	20,0	0,0	20,0	1	2,12	960	78
5	615	86	10,4	13,3	13,3	13,3	2	2,36	926	60

Примечания. 1. Характер начала разрушения во всех вариантах соответствовал сжатию. 2. Распределение пород: 1 – ель; 3 – сосна; 5 – береза; 6 – лиственница.

Стоимость балки включает в себя только стоимость древесины, которую брали из Интернета, р./м³: для березы – 1300, для ели – 2000, для лиственницы – 2500, для сосны – 2100. В последнем столбце содержится информация о степени нагружения крайних нижних волокон, равной $\max(\varepsilon(x - 0,5h))/\varepsilon_{3*}^+$.

Анализ результатов расчетов показал следующее:

1. Варьирование слоев из разных пород приводит к значительному изменению величин предельной нагрузки и максимального прогиба: предельная нагрузка изменяется в 1,66 раза, максимальный прогиб – в 1,55 раза.

2. Вес балок изменяется максимум в 1,45 раза, стоимость – в 1,10 раза.

3. В расчете варианта № 5 предельные деформации были достигнуты во внутреннем слое балки, тогда как в однородных конструкциях предельные деформации всегда достигаются на фибровых волокнах балки. В расчетах вариантов № 1–4 предельные деформации достигались на верхних фибровых волокнах.

4. Во всех расчетах нижние волокна балки были сильно недогружены, что является следствием значительной разностойкости древесины.

Во второй серии расчетов добавим к распределенной нагрузке продольную растягивающую силу, приложенную в центре тяжести сечения. Поперечное сечение полностью выполним из сосны (рис. 6).

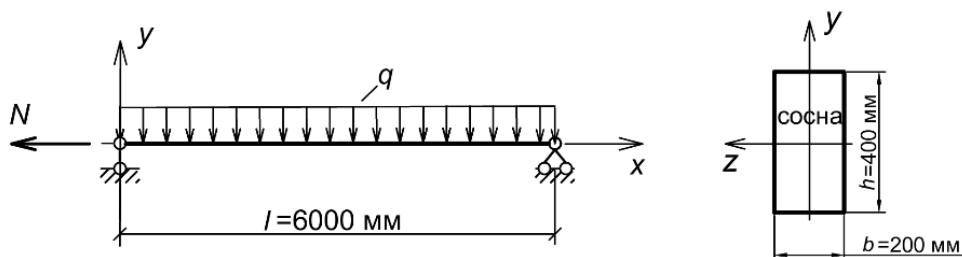


Рис. 6. Расчетная схема балки для второй серии расчетов

Задаем определенную величину продольной силы и ищем максимум распределенной нагрузки. На рис. 7–9 показано влияние продольной силы N на q_{\max} и w_{\max} , а также на степень нагружения крайних верхних и нижних волокон балки.

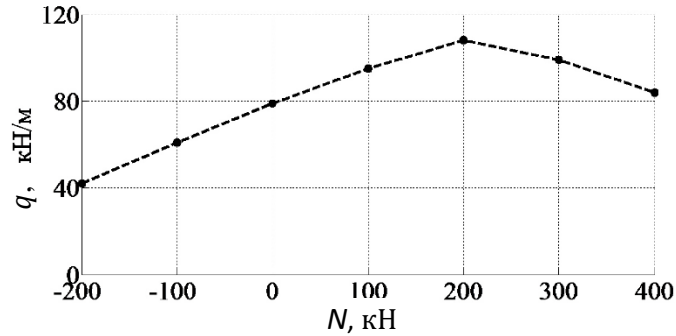


Рис. 7. Определение q_{\max} от продольной силы N

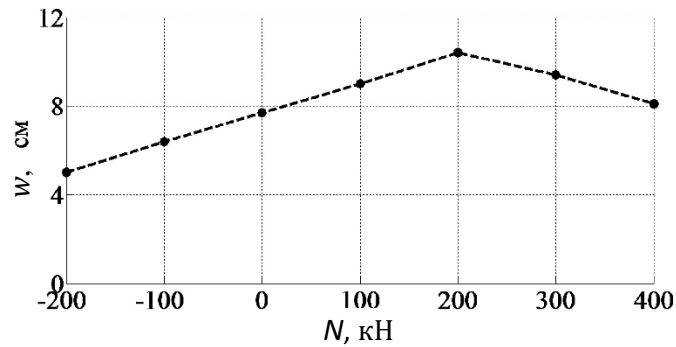


Рис. 8. Определение w_{\max} от продольной силы N

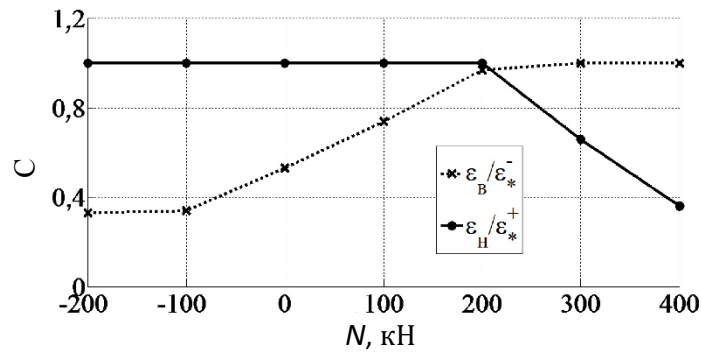


Рис. 9. Зависимость степени нагруженности (C) фибровых волокон от продольной силы N в опасном сечении (ϵ_B, ϵ_H) – величина продольной деформации верхнего (нижнего) волокна опасного сечения)

Графики, выражающие зависимость $q_{\max} - N$ и $w_{\max} - N$, имеют максимум при $N = 200$ кН. При этом максимальные продольные деформации в

опасном сечении одновременно достигают предельной величины. В случае одинаково сопротивляющегося материала максимальное значение q_{\max} достигается при $N = 0$ кН. Из графиков, приведенных на рис. 7–9, видно, что прикладываемая продольную силу, можно увеличить q_{\max} от 79 (при $N = 0$) до 108 кН/м (при $N = 200$ кН).

Заключение

В работе представлено решение проблемы определения напряженно-деформированного состояния гибридных деревянных брусьев с учетом физической нелинейности и разной сопротивляемости древесины растяжению и сжатию.

Приведены диаграммы деформирования для 6 пород древесины. Дан их анализ, показывающий значительное различие в сопротивлении растяжению и сжатию в зависимости от породы. Например, одна порода может лучше работать на сжатие, другая – на растяжение. При одних уровнях напряжений графики деформирования лежат близко друг к другу, при других – значительно расходятся. Такое различие в характеристиках пород может быть использовано при создании конструкций из древесины, в которых рационально соединяются материалы с различными физико-механическими свойствами.

На примере расчетов слоистой однопролетной балки показаны особенности, возникающие при деформировании гибридных (состоящих из разных пород) брусьев, с учетом реальных диаграмм деформирования. К особенностям прежде всего необходимо отнести: сильное влияние перестановки слоев из разных пород на напряженно-деформированное состояние конструкций, в частности на несущую способность и предельный прогиб балки; возможность возникновения скрытых механизмов разрушения (в случае, когда предельные деформации возникают во внутренних слоях конструкции).

Показанные особенности деформирования гибридных деревянных брусьев дают большие возможности для оптимизации слоистых конструкций и могут быть использованы в практике производства современных клееных деревянных конструкций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арленинов Д.К., Буслаев Ю.Н., Игнатъев В.П., Романов П.Г., Чахов Д.К. Конструкции из дерева и пластмасс. М.: Изд-во Ассоц. строит. вузов, 2002. 280 с.
2. Боровиков А.М., Уголев Б.Н. Справочник по древесине. М.: Лесн. пром-сть, 1989. 296 с.
3. Быков В.В. Экспериментальные исследования прочности и деформативности древесины сибирской лиственницы при сжатии и растяжении вдоль волокон с учетом длительного действия нагрузки // Строительство. 1967. № 8. С. 3–8. (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Геммерлинг А.В. Расчет стержневых систем. М.: Стройиздат, 1974. 208 с.
5. Григолюк Э.И., Шалашилин В.И. Проблемы нелинейного деформирования: Метод продолжения решения по параметру в нелинейных задачах механики твердого деформируемого тела. М.: Наука, 1988. 232 с.
6. Исследования прочности и деформативности древесины: сб. ст. / под ред. Г.Г. Карлсена. М.: Госстройиздат, 1956. 172 с.
7. Квасников Е.Н. Вопросы длительного сопротивления древесины. Л.: Стройиздат, 1972. 96 с.

8. *Коченов В.М.* Несущая способность элементов и соединений деревянных конструкций. М.: Госстройиздат, 1953. 320 с.
9. *Немировский Ю.В.* Метод расчета композитных стержневых систем из разномодульных материалов // *Фундаментальные и прикладные проблемы современной механики: материалы V Всерос. науч. конф. (Томск, 3–5 нояб.).* Томск: Изд-во ТГУ, 2006. С. 288–290.
10. *Немировский Ю.В., Болтаев А.И.* Метод расчета деревянных стропильных покрытий зданий. Сообщ. 1. Моделирование и общие закономерности // *Строительство.* 2014. № 3. С. 5–13. (Изв. высш. учеб. заведений).
11. *Немировский Ю.В., Болтаев А.И.* Особенности деформирования и разрушения деревянных клееных многопролетных балок. Сообщ. 1 // *Строительство.* 2016. № 6. С. 116–126. (Изв. высш. учеб. заведений).
12. *Немировский Ю.В., Болтаев А.И.* Особенности расчета деревожелезобетонного балочного моста // *Вестн. СибАДИ.* 2016. Вып. 5(51). С. 114–124.
13. *Немировский Ю.В., Гребенюк Г.И., Ажермачев А.В.* Расчет ребристых деревянных конструкций с учетом эффектов разномодульности и нелинейного сопротивления // *Строительство.* 2007. № 3. С. 4–12. (Изв. высш. учеб. заведений).
14. СП 64.13330.2011. *Деревянные конструкции.* М., 2011. 88 с.
15. *Филин А.П.* Прикладная механика твердого деформируемого тела: Сопротивление материалов с элементами теории сплошных сред и строительной механики. Т. 2. М.: Наука, 1978. 616 с.
16. *Шапиро Д.М., Агарков А.В., Мельничук Н.Н., Чан Т.Т.В.* Нелинейные методы расчета в современном проектировании (на примерах объектов геотехники и мостовых сооружений) // *Науч. вестн. Воронеж. гос. архит.-строит. ун-та.* Строительство и архитектура. 2009. № 3. С. 85–94.
17. *Шмидт А.Б., Дмитриев П.А.* Атлас строительных конструкций из клееной древесины и водостойкой фанеры. М.: Изд-во Ассоц. строит. вузов, 2002. 292 с.
18. *De La Rosa García P., Escamilla A.C., Nieves González García M.* Bending Reinforcement of Timber Beams with Composite Carbon Fiber and Basalt Fiber Materials // *Composites Part B: Engineering.* 2013. Vol. 55. Pp. 528–536.
19. *McGuire W., Gallagher R.H., Ziemian R.D.* Matrix Structural Analysis. New York, USA: Wiley, 2000. 474 p.
20. *Owen D.R.J., Hinton E.* Finite Elements in Plasticity: Theory and Practice. Swansea, U.K.: Pineridge Press, 2013. 640 p.
21. *Pischl R., Schickhofer G.* The Mur River Wooden Bridge, Austria // *Structural Engineering International.* 1993. Vol. 3, iss. 4. Pp. 217–219.
22. *Poirier E., Moudgil M., Fallahi A., Staub-French S., Tannert T.* Design and Construction of a 53-Meter-Tall Timber Building at the University of British Columbia // *Proc. WCTE.* 2016.
23. *Porteous J., Kermani A.* Structural Timber Design to Eurocode 5. Wiley-Blackwell Publ., 2013. 638 p.
24. *Raftery G.M., Whelan C.* Low-Grade Glued Laminated Timber Beams Reinforced Using Improved Arrangements of Bonded-in GFRP Rods // *Construction and Building Materials.* 2014. Vol. 52. Pp. 209–220.

UDC 674.038.3

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.118

Features of Deformation and Destruction of Hybrid Timber Beams*Yu.V. Nemirovskiy, Doctor of Physico-Mathematical Sciences, Professor**A.I. Boltaev, Postgraduate Student*

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, ul. Leningradskaya, 113, Novosibirsk, 630008, Russian Federation; e-mail: nemirov@itam.nsc.ru, boltaev_artem@mail.ru

The paper presents a problem solution of determining the stress-strain state of hybrid (consisting of different species of wood) wooden beams. The cross-section of the beam is laminated. Each layer can change the shape of the cross-section in a wide range. The physical nonlinearity of the layer deformation curves, as well as their different resistance to tension and compression should be taken into account. In general, a beam experiences a straight cross-bending with tension and compression. The deformation curves for 6 wood species for tension-compression along fibers are compared. The results show that different wood species resist tension and compression differently: one species works better for tension (can experience greater stresses and strains), the other – for compression. At one stress level, the deformation graphs of different species are located close to each other, while at other levels they significantly diverge. The data of calculations of hybrid bars show significant features of deformation and destruction of hybrid physically non-linear bars in comparison with homogeneous ones (consisting of one species), the material of which follows the Hooke's law. These features include a significant change in the magnitude of the extreme load and maximum deflection when varying the layer species and the possibility of emergence of hidden mechanics of destruction, when ultimate longitudinal strains are achieved in the inner layers of the beam. These features of deformation and destruction of hybrid wooden structures should be considered in the process of their production.

Keywords: laminated structure, physical nonlinearity, hybrid design, mechanisms of destruction.

REFERENCES

1. Arleninov D.K., Buslaev Yu.N., Ignat'yev V.P., Romanov P.G., Chakhov D.K. *Konstruktsii iz dereva i plastmass* [Construction of Wood and Plastics]. Moscow, Association of Educational Civil Engineering Institutions of Construction Publ., 2002. 280 p. (In Russ.)
2. Borovikov A.M., Ugolev B.N. *Spravochnik po drevesine* [Wood Guide]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1989. 296 p. (In Russ.)
3. Bykov V.V. Eksperimental'nye issledovaniya prochnosti i deformativnosti drevesiny sibirskoy listvenitsy pri szhatii i rastyazhenii vdol' volokon s uchedom dliitel'nogo deystviya nagruzki [Experimental Studies of Ultimate Compressive and Tensile Strength of Siberian Larch Wood Along the Fibers, Taking into Account the Long Load Action]. *Stroitel'stvo*, 1967, no. 8, pp. 3–8.
4. Gemmerling A.V. *Raschet sterzhnevyykh system* [Calculation of Rod Systems]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1974. 208 p. (In Russ.)

For citation: Nemirovskiy Yu.V., Boltaev A.I. Features of Deformation and Destruction of Hybrid Timber Beams. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2018, no. 4, pp. 118–131. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.118

5. Grigolyuk E.I., Shalashilin V.I. *Problemy nelineynogo deformirovaniya: Metod prodolzheniya resheniya po parametru v nelineynykh zadachakh mekhaniki tverdogo deformiruyemogo tela* [Problems of Nonlinear Deformation: the Continuation Method with Respect to a Parameter in Nonlinear Problems of Mechanics of Solids]. Moscow, Nauka Publ., 1988. 232 p. (In Russ.)
6. Karlsen G.G. *Issledovaniya prochnosti i deformativnosti drevesiny* [Investigation of Strength and Deformability of Wood]. Moscow, Gosstroyizdat Publ., 1956. 172 p. (In Russ.)
7. Kvasnikov E.N. *Voprosy dlitel'nogo soprotivleniya drevesiny* [Issues of Long-Term Wood Resistance]. Leningrad, Stroyizdat Publ., 1972. 96 p. (In Russ.)
8. Kochenov V.M. *Nesushchaya sposobnost' elementov i soedineniy derevyannykh konstruksiy* [Bearing Capacity of Elements and Joints of Wooden Structures]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1953. 320 p. (In Russ.)
9. Nemirovskiy Yu.V. *Metod rascheta kompozitnykh sterzhnevnykh sistem iz raznomodul'nykh materialov* [A Method of Calculation of Composite Rod Systems from Heterogeneous Materials]. *Fundamental'nyye i prikladnyye problemy sovremennoy mekhaniki: materialy V Vseros. nauch. konf. (Tomsk, 3–5 noyab.)* [Fundamental and Applied Problems of Modern Mechanics: Proc. 5th All-Russ. Sci. Conf. (Tomsk, 3–5 November)]. Tomsk, TSU Publ., 2006, pp. 288–290. (In Russ.)
10. Nemirovskiy Yu.V., Boltaev A.I. *Metod rascheta derevyannykh stropil'nykh pokrytiy zdaniy. Soobshch. 1. Modelirovanie i obshchie zakonomernosti* [Method for Calculating Wooden Roof Coatings of Buildings. Report 1: Modeling and General Patterns]. *Stroitel'stvo*, 2014, no. 3, pp. 5–13.
11. Nemirovskiy Yu.V., Boltaev A.I. *Osobennosti deformirovaniya i razrusheniya derevyannykh kleynykh mnogoproletnykh balok. Soobshch. 1* [Features of Deformation and Destruction of Wooden Glued Multispan Beams. Report 1]. *Stroitel'stvo*, 2016, no. 6, pp. 116–126.
12. Nemirovskiy Yu.V., Boltaev A.I. *Osobennosti rascheta derevozhelezobetonogo balochnogo mosta* [Calculation of Wood Reinforced Concrete Girder Bridge]. *Vestnik SibADI*, 2016, no. 5(51), pp. 114–124.
13. Nemirovskiy Yu.V., Grebenyuk G.I., Azhermachev A.V. *Raschet rebristykh derevyannykh konstruksiy s uchetom effektov raznomodul'nosti i nelineynosti soprotivleniya* [Calculation of Ribbed Wooden Structures Taking into Account the Effects of Heterogeneity and Nonlinearity of Resistance]. *Stroitel'stvo*, 2007, no. 3, pp. 4–12.
14. *SP 64.13330.2011. Derevyannyye konstruksii* [Code of Practice 64.13330.2011. Timber Structures]. Moscow, 2011. 88 p.
15. Filin A.P. *Prikladnaya mekhanika tverdogo deformiruemogo tela: Soprotivleniye materialov s elementami teorii sploshnykh sred i stroitel'noy mekhaniki. Tom 2.* [Applied Mechanics of Solids: Material Resistance with Elements of Continuum Theory and Structural Mechanics. Vol. 2]. Moscow, Nauka Publ., 1978. 616 p. (In Russ.)
16. Shapiro D.M., Agarkov A.V., Mel'nichuk N.N., Chan T.T.V. *Nelineynyye metody rascheta v sovremennoy proyektirovaniy (na primerakh ob'yektov geotekhniki i mostovykh sooruzheniy)* [Non-Linear Methods of Analysis in Modern Designing (by the Example of Geotechnics Objects and Bridgeworks)]. *Nauchnyy Vestnik VGASU. Ser.: Stroitel'stvo i Arkhitektura* [Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture], 2009, no. 3, pp. 85–94.
17. Shmidt A.B., Dmitriev P.A. *Atlas stroitel'nykh konstruksiy iz kleynoy drevesiny i vodostoykoy fanery* [Atlas of Building Structures Made of Glued Wood and Waterproof Plywood]. Moscow, Association of Educational Civil Engineering Institutions of Construction Publ., 2002. 292 p. (In Russ.)
18. De La Rosa García P., Escamilla A.C., Nieves González García M. *Bending Reinforcement of Timber Beams with Composite Carbon Fiber and Basalt Fiber Materials. Composites Part B: Engineering*, 2013, vol. 55, pp. 528–536.

-
19. McGuire W., Gallagher R.H., Ziemian R.D. *Matrix Structural Analysis*. New York, USA, Wiley, 2000. 474 p.
 20. Owen D.R.J., Hinton E. *Finite Elements in Plasticity: Theory and Practice*. Swansea, U.K., Pineridge Press, 2013. 640 p.
 21. Pischl R., Schickhofer G. The Mur River Wooden Bridge, Austria. *Structural Engineering International*, 1993, vol. 3, iss. 4, pp. 217–219.
 22. Poirier E., Moudgil M., Fallahi A., Staub-French S., Tannert T. Design and Construction of a 53-Meter-Tall Timber Building at the University of British Columbia. *Proc. WCTE*, 2016.
 23. Porteous J., Kermani A. *Structural Timber Design to Eurocode 5*. Wiley-Blackwell Publ., 2013. 638 p.
 24. Raftery G.M., Whelan C. Low-Grade Glued Laminated Timber Beams Reinforced Using Improved Arrangements of Bonded-in GFRP Rods. *Construction and Building Materials*, 2014, vol. 52, pp. 209–220.
-

Received on January 30, 2018

УДК 674.047

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.132

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА РАСЧЕТА ПРОЦЕССА КОНВЕКТИВНОЙ СУШКИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ

*Н.Б. Баланцева, канд. техн. наук, доц.**В.И. Мелехов, д-р техн. наук, проф.**О.А. Калиничева, канд. техн. наук, доц.*

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: n.balantseva@narfu.ru

Среди различных способов сушки древесины наиболее распространен метод конвективной камерной сушки. Режимы регламентируют процесс сушки пиломатериалов в зависимости от породы и размеров по времени или по влажностному состоянию древесины. В Руководящих технических материалах по сушке режимы устанавливаются в зависимости от влажностного состояния древесины. Режим сушки предусматривает контроль начальной влажности пиломатериалов путем отбора образцов из различных зон сушильного пакета для взвешивания, определения текущей влажности и закладки их обратно в штабель. Однако этот способ определения текущей влажности древесины требует периодического открывания рабочей камеры (что изменяет параметры сушильной среды) и перехода на одну из трех ступеней режима сушки. Процесс сушки характеризуется повышающейся жесткостью режима при уменьшении влажности пиломатериалов. Он должен обеспечивать наименьшую продолжительность процесса при сохранении естественных свойств древесины. Рассмотрен вопрос о применении метода расчета поля влажности пиломатериалов, так как переменные во времени режимы не дают точной информации о предполагаемом состоянии влаги во времени. Разработанный прием расчета распределения влаги в поперечном сечении пиломатериалов с использованием метода конечных элементов в виде множества треугольников, глобальных сеток жесткости и суммарных векторов нагрузки позволяет определять влагосодержание в узлах сетки. Сравнение кривых сушки, определенных по методу П.С. Сергеевского и по предложенному методу, показало, что последний дает более точные результаты.

Ключевые слова: конвективная сушка пиломатериалов, триангуляция Делоне, метод Галеркина, поле влагосодержания, система дифференциальных уравнений в частных производных, метод конечных элементов, система линейных алгебраических уравнений, уравнения влагопереноса.

Введение

Сушка является ключевым технологическим процессом, коренным образом повышающим качество древесины. В результате этого процесса из биологически нестойкого, технологически нестабильного и неподдающегося отделке сырья она превращается в ценный материал, обладающий рядом уни-

Для цитирования: Баланцева Н.Б., Мелехов В.И., Калиничева О.А. Совершенствование метода расчета процесса конвективной сушки пиломатериалов // Лесн. журн. 2018. № 4. С. 132–139. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.132

кальных положительных свойств. Правильное проведение процесса сушки способствует повышению качества изделий из дерева и снижает количество отходов, обусловленных покоробленностью, растрескиванием, искривлением пиломатериалов.

Сушка древесины создает ряд специфических проблем, связанных с разнообразием физико-механических свойств разных пород, различием в размерах сортиментов, анизотропией свойств древесины, сложностью физических явлений, возникающих при сушке, большой продолжительностью процесса. Все это затрудняет совершенствование технологии сушки и препятствует математическому моделированию процесса.

Наиболее распространенный способ сушки древесины – камерная конвективная. В настоящее время в соответствии с Руководящими техническими материалами (РТМ) [8] режимы сушки для определенных пород и размеров пиломатериалов назначаются в зависимости от влажности древесины. Режим сушки должен обеспечивать наименьшую продолжительность процесса при сохранении естественных свойств древесины. Процесс сушки сопровождается увеличивающейся психрометрической разностью сушильной среды. Перед проведением сушки определяется начальная влажность пиломатериалов. С этой целью из различных зон штабеля отбираются пиломатериалы, из которых вырезаются заготовки. Часть заготовок после взвешивания высушивается, остальные закладываются в штабель пиломатериалов. В процессе сушки периодически необходимо заходить в сушильную камеру и взвешивать заложенные образцы для определения текущей влажности пиломатериалов. По текущей влажности задается режим сушки по РТМ [8]. При низкотемпературном процессе режимы подразделяются на мягкий, нормальный и форсированный. В зависимости от влагосодержания древесины задаются параметры сушки: температура «сухого» термометра t_c , разность температур «сухого» и «мокрого» термометров Δt , степень насыщенности сушильной среды ϕ .

Ведение процесса низкотемпературной тепловоздушной сушки древесины в сушильных камерах производится с применением переменных режимов, в которых показатели агента сушки зависят от времени. Однако эти режимы относительно учитывают влажностное состояние древесины, не имеют обратной связи по состоянию влаги в процессе сушки. Совершенствование процесса сушки необходимо осуществлять в направлении контроля фактического состояния влаги в пиломатериалах. Существующие методы определения влагопереноса в пиломатериалах не решают эту задачу [6–9, 11]. В то же время применяемые в других отраслях промышленности системы автоматического регулирования на базе микропроцессорной техники могут быть использованы для поддержания высокой точности параметров конвективной сушки. Необходимо разработать научно-обоснованный подход к решению этой проблемы, используя современные средства математического обеспечения.

Цель исследования – совершенствование технологии конвективной сушки древесины на основе математического моделирования динамики процесса влагопереноса путем повышения достоверности и точности определения содержания влаги в древесине при сушке.

Объекты и методы исследования

Нами разработаны приемы расчета распределения влаги в поперечном сечении пиломатериалов, опирающиеся на элементное представление о процессе переноса влаги в нем [4].

Если перенос влаги сопровождается фазовыми переходами, то процесс сушки определяется общей системой уравнений, описывающих перенос влаги и тепла для любых сушильных процессов [7]:

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial \tau} = k_{11} \nabla^2 u + k_{12} \nabla^2 T + k_{13} \nabla^2 P, \\ \frac{\partial T}{\partial \tau} = k_{21} \nabla^2 u + k_{22} \nabla^2 T + k_{23} \nabla^2 P, \\ \frac{\partial P}{\partial \tau} = k_{31} \nabla^2 u + k_{32} \nabla^2 T + k_{33} \nabla^2 P, \end{cases} \quad (1)$$

где u – концентрация влаги, кг/м³;

k – коэффициент пропорциональности, согласующий размерности величин;

∇ – градиент;

T – температура материала, К;

P – давление внутри материала, Па.

Эта система дифференциальных уравнений в частных производных решается только для простейших случаев. Для низкотемпературной конвективной сушки общее уравнение влагопереноса имеет следующий вид [5, 9]:

$$i = -a' \rho_0 \Delta u + a' \rho_0 \delta \Delta t, \quad (2)$$

где i – поток влаги, кг/(с·м²);

a' – коэффициент потенциалопродности влаги;

ρ_0 – плотность абсолютно сухой древесины;

δ – коэффициент термодиффузии.

В этом уравнении направления движения влаги под действием потенциалов влаги и температуры противоположны: влага переносится за счет градиента концентрации от центра к поверхности, а градиент температуры препятствует движению влаги к поверхности.

Существует ряд приемов, с помощью которых задача сводится к отысканию решения на множестве точек, составляющих дискретную сетку в данной области. Так как длина пиломатериалов намного больше размеров поперечного сечения, влагоперенос по длине пиломатериалов не учитывается, и задача сводится к двумерной. Задача изменения процесса сушки в двух измерениях решается методом конечных элементов [1, 2, 10–13]. При этом поперечное сечение представляется системой множества треугольников (рис. 1), в узлах сетки определяется концентрация влаги [4].

Уравнение, определяющее распределение влагосодержания в конечном элементе двумерной модели поперечного сечения пиломатериалов в соответствии с известным приемом Галеркина, в матричной форме имеет следующий вид [4]:

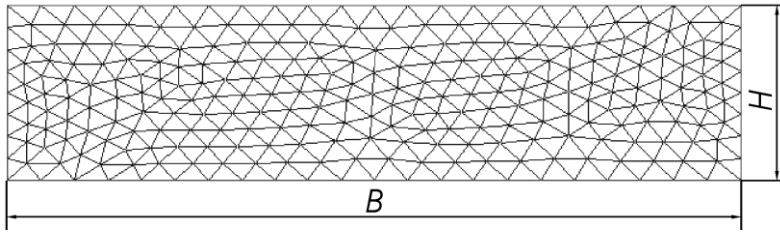


Рис. 1. Множество Делоне [3] для модели поперечного сечения пиломатериалов (B и H – ширина и толщина сечения соответственно)

$$[a_m^{(e)}] \cdot \{u\} = \{f_g^{(e)}\}, \quad (3)$$

где $[a_m^{(e)}]$ – сетка влагопроводности;

$\{f_g^{(e)}\}$ – вектор влагообмена (суммарный вектор нагрузок).

Сетка влагопроводности:

$$[a_m^{(e)}] = \iint_A \left(a_{mx} \left[\frac{\partial N_k}{\partial x} \right]^T \left[\frac{\partial N_k}{\partial x} \right] + a_{my} \left[\frac{\partial N_k}{\partial y} \right]^T \left[\frac{\partial N_k}{\partial y} \right] \right) dA, \quad (4)$$

где a_{mx} и a_{my} – коэффициент влагопереноса по оси x и y ;

$[N_k]$ – однострочная сетка функций формы, аппроксимирующая распределение влаги;

A – область одного из множеств.

Суммарный вектор нагрузок:

$$\{f_g^{(e)}\} = -\oint_s i_s n_s [N_k]^T ds, \quad (5)$$

где i – поток влаги;

n – количество элементов;

s – поверхность конечного элемента.

Уравнения (3)–(5) описывают общую конечно-элементную задачу влагопереноса в древесине в двух измерениях.

Для получения глобальных сеток жесткости и суммарных векторов нагрузок применяется принцип суперпозиции. По результатам сборки глобальных сеток жесткости и суммарных векторов нагрузок образуется система линейных алгебраических уравнений, решение которой приводит к определению влагосодержания W в узлах сетки.

По результатам математического моделирования и экспериментальным данным на рис. 2 представлено реальное распределение влагосодержания по сечению пиломатериалов. Некоторое различие объясняется неравномерностью влажности пиломатериалов по их длине.

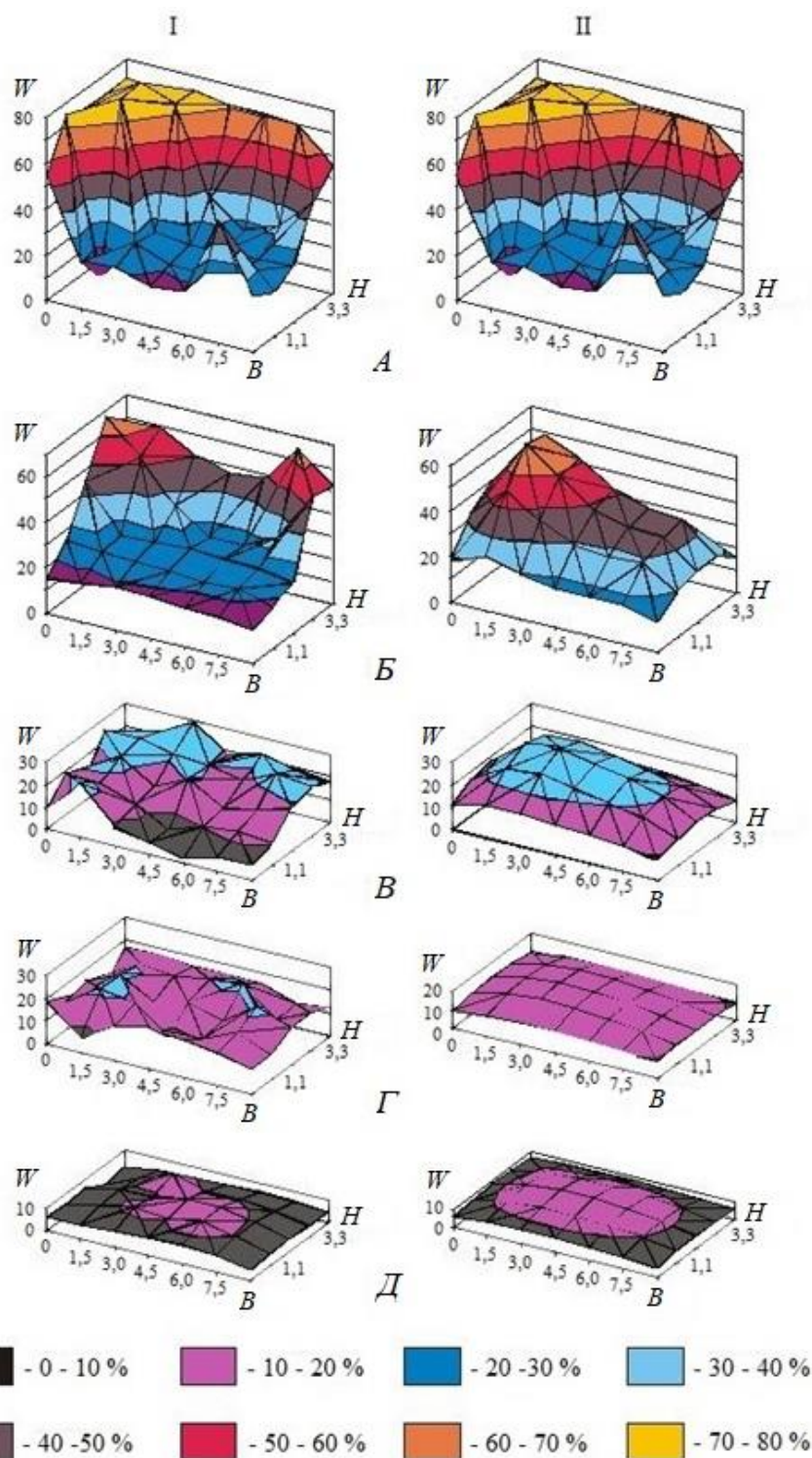


Рис. 2. Диаграммы распределения влагосодержания в поперечном сечении пиломатериалов в процессе сушки: I – экспериментальные образцы; II – расчетные образцы, построенные для того же момента времени (A – в момент начала сушки; Б – через 24 ч; В – через 48 ч; Г – через 72 ч; Д – после извлечения из камеры; W, %; B, см; H, см)

Сравнение кривых сушки, полученных в ходе экспериментов и расчетных [4], приведено на рис. 3.

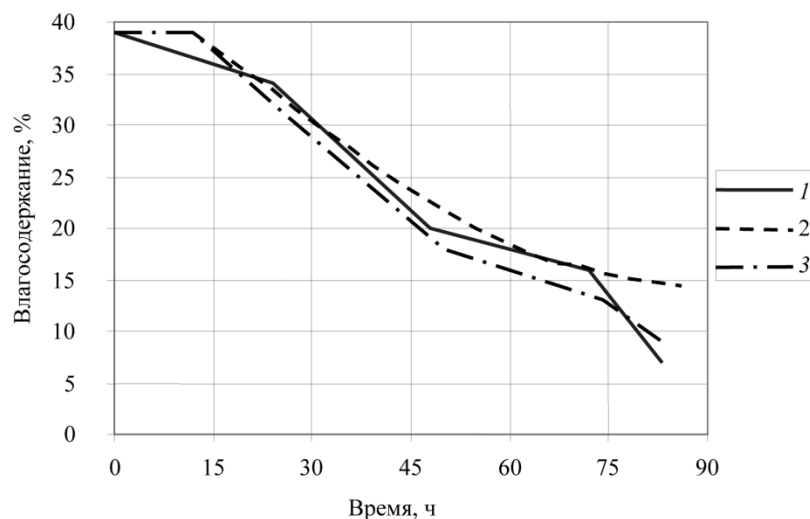


Рис. 3. Экспериментальный (1) и расчетные (2, 3) графики сушки пиломатериалов в камере: 2 – расчет по уравнению П.С. Серговского; 3 – по предложенной методике

Предложенный нами способ более точно характеризует процесс сушки при влаготермообработке и кондиционировании. При влажности пиломатериалов ниже 20 % по уравнению П.С. Серговского получается заниженный результат при оценке скорости сушки и завышенный – при оценке влагосодержания и времени сушки до конечной влажности. При влаготермообработке и кондиционировании. Оба способа (по уравнению П.С. Серговского и по предложенной методике) дают близкие результаты, но разработанный нами метод более точен.

Заключение

Проведенные исследования показали возможность определения численным методом влагосодержания пиломатериалов в процессе сушки.

Результаты исследования могут быть использованы для контроля и определения влагосодержания на основе математической модели при автоматическом управлении процессом сушки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баланцев Г.А., Баланцева Н.Б. Математическое описание свойств древесины для расчета влажности в процессе сушки // Наука – северному региону. Вып. 78. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2009. С. 9–12.
2. Баланцев Г.А., Баланцева Н.Б. Развитие методов расчета процессов влагопередачи при сушке древесины // Лесн. журн. 2009. № 5. С. 87–94. (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Баланцева Н.Б. Построение математической модели процесса сушки древесины // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: сб. науч. тр. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2007. Вып. 73. С. 11–14.

4. *Баланцева Н.Б.* Совершенствование технологии конвективной сушки пиломатериалов на основе моделирования динамики процесса: дис. ... канд. техн. наук. Архангельск: Изд-во САФУ, 2010. 148 с.
5. *Дьяконов К.Ф., Горяев А.А.* Сушка древесины токами высокой частоты. М.: Лесн. пром-сть, 1981. 168 с.
6. *Кречетов И.В.* Сушка древесины. 3-е изд., перераб. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 432 с.
7. *Лыков А.В.* Теория сушки. М.: Энергия, 1968. 472 с.
8. Руководящие технические материалы по технологии камерной сушки пиломатериалов / ОАО «Научдревпром–ЦНИИМОД». Архангельск, 2000. 125 с.
9. *Серговский П.С.* Оборудование гидротермической обработки древесины. 2-е изд., перераб. М.: Лесн. пром-сть, 1981. 304 с.
10. *Стренг Г., Фикс Дж.* Теория метода конечных элементов. М.: Мир, 1977. 349 с.
11. *Шубин Г.С.* Физические основы и расчет процессов сушки древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1973. 248 с.
12. *Bramhall G.* Mathematical Model for Lumber Drying // J. Wood Science. 1979. Vol. 12. Pp. 14–31.
13. *Hutton D.V.* Fundamentals of Finite Element Analysis. McGraw-Hill, 2004. 494 p.

Поступила 10.10.17

UDC 674.047

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.132

Improvement of the Analysis Technique of the Convective Lumber Drying Process

N.B. Balantseva, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

V.I. Melekhov, Doctor of Engineering Sciences, Professor

O.A. Kalinicheva, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation;

e-mail: n.balantseva@narfu.ru

The method of convective kiln drying is the most common technique among the various methods of wood drying. Modes regulate the lumber drying process depending on the species and the size of the time or wood moisture content. The Reference specification on the technology of kiln drying of sawn timber prescribes regimes in dependence on the wood moisture content. The drying schedule provides control of the initial lumber moisture content by sampling from different areas of the drying stack for weighing, determining the current moisture content and putting them back into the stack. However, this method of determining the current moisture content of wood requires the periodic opening of the working kiln (which changes the parameters of the drying medium) and transition to one of the three stages of the drying schedule. The drying process is characterized by increasing operating severity with a decrease in the moisture content of sawn timber. The drying schedule should ensure the shortest drying time while maintaining the natural properties of wood. The article considers the application of the analysis technique of the moisture content field of lumber, since the time-varying regimes do not provide accurate information on the expected state of moisture over time. The developed method for calculating of the moisture distribution in the

For citation: Balantseva N.B., Melekhov V.I., Kalinicheva O.A. Improvement of the Analysis Technique of the Convective Lumber Drying Process. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2018, no. 4, pp. 132–139. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.132

cross-section of sawn timber using the finite-element method in the form of a set of triangles, global stiffness grids and resultant load vectors allows determining the moisture content at the grid nodes. A comparison of the drying curves determined by the P.S. Sergovskiy's method and by the proposed method demonstrates the more accurate results of the second technique.

Keywords: convective lumber drying, Delaunay triangulation, Galerkin method, moisture content field, partial differential system, finite-element method, system of linear equations, moisture transfer equation.

REFERENCES

1. Balantsev G.A., Balantseva N.B. Matematicheskoe opisanie svoystv drevesiny dlya rascheta vlazhnosti v protsesse sushki [A Mathematical Description of Wood Properties for Moisture Calculating during the Drying Process]. *Nauka – severnomu regionu. Vyp. 78* [Science to the Northern Region. Issue 78]. Arkhangelsk, ASTU Publ., 2009, pp. 9–12. (In Russ.)
2. Balantsev G.A., Balantseva N.B. Razvitie metodov rascheta protsessov vlagoperedachi pri sushke drevesiny [Development of Computation Methods for Moisture Transfer in Wood Drying]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2009, no. 5, pp. 87–94.
3. Balantseva N.B. Postroenie matematicheskoy modeli protsessa sushki drevesiny [Mathematical Model Development of the Lumber Drying Process]. *Okhrana okruzhayushchey sredy i ratsional'noe ispol'zovanie prirodnnykh resursov: sb. nauch. tr.* [Protection of the Environment and Rational Use of Natural Resources]. Arkhangelsk, ASTU Publ., 2007, iss. 73, pp. 11–14. (In Russ.)
4. Balantseva N.B. *Sovershenstvovanie tekhnologii konvektivnoy sushki pilomaterialov na osnove modelirovaniya dinamiki protsessa: dis. ... kand. tekhn. nauk* [Improvement of Convective Lumber Drying Technology on the Basis of Process Dynamics Modeling: Cand. Eng. Sci. Diss.]. Arkhangelsk, NArFU Publ., 2010. 148 p.
5. D'yakov K.F., Goryaev A.A. *Sushka drevesiny tokami vysokoy chastoty* [Wood Drying by High Frequency Currents]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1981. 168 p. (In Russ.)
6. Krechetov I.V. *Sushka drevesiny* [Wood Drying]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1980. 432 p. (In Russ.)
7. Lykov A.B. *Teoriya sushki* [Drying Theory]. Moscow, Energiya Publ., 1968. 472 p. (In Russ.)
8. *Rukovodyashchie tekhnicheskie materialy po tekhnologii kamernoy sushki pilomaterialov* [Reference Specification on the Technology of Kiln Drying of Sawn Timber]. Arkhangelsk, OAO Nauchdrevprom–TSNIIMOD Publ., 2000. 125 p. (In Russ.)
9. Sergovskiy P.S. *Oborudovanie gidrotermicheskoy obrabotki drevesiny* [Equipment for Hydrothermal Wood Processing]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1981. 304 p. (In Russ.)
10. Strang G., Fix G.J. *An Analysis of the Finite Element Method*. US, Prentice-Hall, 1973. 306 p.
11. Shubin G.S. *Fizicheskie osnovy i raschet protsessov sushki drevesiny* [Physical Basis and Calculation of Wood Drying Processes]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1973. 248 p. (In Russ.)
12. Bramhall G. Mathematical Model for Lumber Drying. *J. Wood Science*, 1979, vol. 12, pp. 14–31.
13. Hutton D.V. *Fundamentals of Finite Element Analysis*. McGraw-Hill, 2004. 494 p.

Received on October 10, 2017



УДК 662.71+630*867.5

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.140

ПАРОГАЗОВАЯ АКТИВАЦИЯ ДРЕВЕСНОГО УГЛЯ ИЗ БАМБУКА**К.Н. Чу¹, асп.****А.А. Спицын¹, канд. техн. наук, доц.****К.А. Романенко², асп.****Д.А. Пономарев¹, д-р хим. наук, проф.**

¹Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Институтский пер., д. 5, литер У, Санкт-Петербург, Россия, 194021; e-mail: songnghich19a@gmail.com, spitsyn.andrey@gmail.com, dponomarev1@mail.ru

²Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: kristinaromanenko@yandex.ru

Исследован пиролиз стеблей бамбука (*Bambos bambusa*) в целях установления сохранения им исходной структуры в получаемом угле-сырце. Кусочки бамбука подвергались медленному пиролизу по периодической схеме в 4-литровом реакторе из нержавеющей стали, снабженном внешним электрическим нагревателем. Активация угля-сырца проводилась перегретым водяным паром при температуре 970 °С. Для полученного монолитного наноструктурного углеродного материала определены адсорбционная активность по иоду, удельная площадь поверхности, объем пор и их распределение по размеру. Анализ изотерм сорбции-десорбции для полученного материала и диаграмм распределения пор по размерам показал, что этот материал имеет микропористую структуру. Объем микропор, установленный различными методами, составляет 0,26...0,29 см³/г и практически не зависит от метода определения. Микропоры вносят основной вклад в пористую структуру угля, занимая 85 % общего объема.

Ключевые слова: бамбук, парогазовая активация, активированный уголь, монолитный углерод, пиролиз.

Введение

В настоящее время активированный уголь используется во многих процессах химической промышленности для очистки различных газов и сточных вод, а также в пищевой промышленности и медицине. Его применение позволяет удовлетворять постоянно возрастающие требования к чистоте питьевой воды. Большой интерес представляют расширение сырьевой базы для получения активированного угля и улучшение его сорбционной способности.

Сырьем для получения этого ценного продукта могут служить различные растительные материалы: древесина, бамбук, торф, скорлупа орехов, фруктовые косточки и др.

Для цитирования: Чу К.Н., Спицын А.А., Романенко К.А., Пономарев Д.А. Парогазовая активация древесного угля из бамбука // Лесн. журн. 2018. № 4. С. 140–149. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.140

Процесс производства активированного угля состоит из двух этапов: пиролиза (карбонизации) и активации, которая осуществляется как химическими, так и физическими (парогазовыми) методами. При химической активации получают уголь с высокой активностью, но содержащий различные неорганические примеси, поэтому он требует дорогостоящей стадии очистки. С использованием парогазовых методов получают чистый, не нуждающийся в дополнительной обработке, продукт, но имеющий меньшую удельную площадь поверхности.

Выбор бамбука обусловлен тем, что получаемый из него активированный уголь отличается относительно высокой механической прочностью и очень тонкими порами, что позволяет применять его для медицинских, пищевых и других целей. При этом решается проблема рационального использования отходов переработки бамбука, которые в большом количестве образуются на территориях стран с тропическим климатом. Эти отходы представляют собой удобное для переработки вторичное сырье низкой себестоимости.

Высокотемпературный пиролиз бамбука в токе азота и водяного пара был изучен авторами работ [7, 11, 12, 15–17], где доказана возможность получения угля, пригодного для дальнейшей активации. Результаты химической активации угля из бамбука показали принципиальную возможность производства продукта с хорошими сорбционными свойствами [3, 4, 8–10, 14, 18]. Бамбуковый активированный уголь выпускают в виде тонкодисперсного порошка, что, безусловно, повышает удельную площадь поверхности, но уничтожает естественную «нативную» структуру бамбука. Однако физико-химических исследований активированного угля как наноструктурированного материала с сохраненной структурой «нативного» бамбука выполнено не было.

Цель настоящего исследования – осуществление пиролиза стеблей бамбука (*Vambos bambusa*) с сохранением его исходной структуры в полученном угле-сырце и проведение его дальнейшей активации водяным паром с определением сорбционных свойств пористого материала.

Объекты и методы исследования

Стебли бамбука возрастом 5 лет были заготовлены во Вьетнаме и разрезаны на куски размером 10×5×3 см. Физические параметры исходного материала, такие как влажность и зольность, определяли по методикам [2]. Влажность воздушно-сухого сырья составляла 14,5 %, зольность в расчете на абсолютно сухое вещество – 1,3 %.

Для получения угля-сырца куски бамбука подвергали медленному пиролизу на стенде периодического действия в 4-литровом из нержавеющей стали реакторе, снабженном внешним электрическим нагревателем. Нагрев контролировали пропорционально-интегрально-дифференцирующим (ПИД) регулятором. Для сбора и обработки экспериментальных данных использовали систему OpenScada, установленную на персональном компьютере под управлением операционной системы Debian 8. Температуру измеряли на внешней стенке муфельной печи, внутри сырья, в воде, входящей в конденсатор-холодильник и выходящей из него, а также в отходящих из реактора парагазах. Термопару, расположенную на внешней стенке муфельной печи и не подключенную к SCADA, использовали для контроля нагрева ПИД-регулятора. Скорость нагрева до температуры 800 °С в среднем составляла 2 °С/мин.

Далее содержимое реактора охлаждали в атмосфере газов пиролиза. Сконденсированные жидкие продукты пиролиза взвешивали. Схема установки для проведения пиролиза представлена на рис. 1.

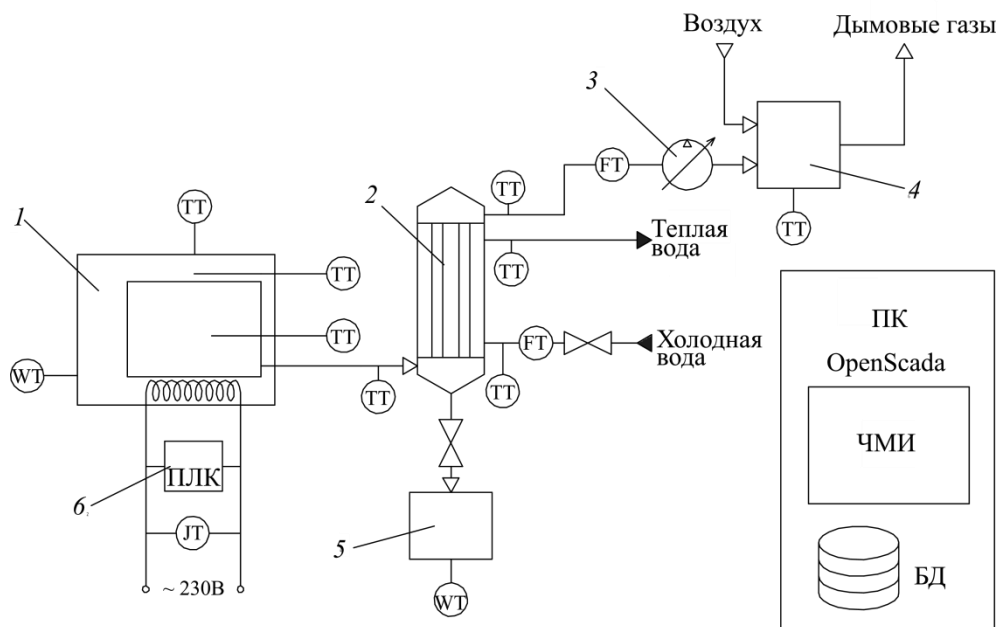


Рис. 1. Схема станционной установки для проведения пиролиза: 1 – реактор; 2 – конденсатор-холодильник; 3 – насос; 4 – топочная камера; 5 – приемная емкость; 6 – программируемый логический контроллер (ПЛК); ТТ – измеритель температуры; ЛТ – измеритель мощности; WT – датчик веса; FT – измеритель расхода потока

Для дальнейшей активации образец угля-сырца распиливали на пластинки толщиной 1...2 мм перпендикулярно волокнам. Пластинку угля-сырца массой 0,3 г помещали в трубчатый реактор с сетчатой перегородкой, вращающийся со скоростью 1 об./мин. В реактор подавали водяной пар. Продолжительность активации при температуре 970 °С в опытах составляла 5, 15, 20 и 25 мин. По окончании эксперимента подачу пара прекращали. После полного охлаждения реактора активированный уголь взвешивали и определяли потерю массы при активации (степень обгара).

Станционная установка для проведения активации изображена на рис. 2.

Определение адсорбционной активности образцов активированного угля по иоду было проведено в соответствии с ГОСТ 6217–74. Навеску угля (около 1 г) помещали в коническую колбу вместимостью 250 см³, добавляли 100 см³ 0,1 н. раствора иода в иодистом калии и вручную взбалтывали в течение 30 мин. Затем раствору давали отстояться и пипеткой (чтобы не попали частички угля) отбирали 10 см³ раствора, эту пробу помещали в коническую колбу вместимостью 50 см³ и титровали раствором тиосульфата натрия в присутствии крахмала до исчезновения синей окраски. Параллельно проводили контрольный опыт с раствором иода в иодистом калии.

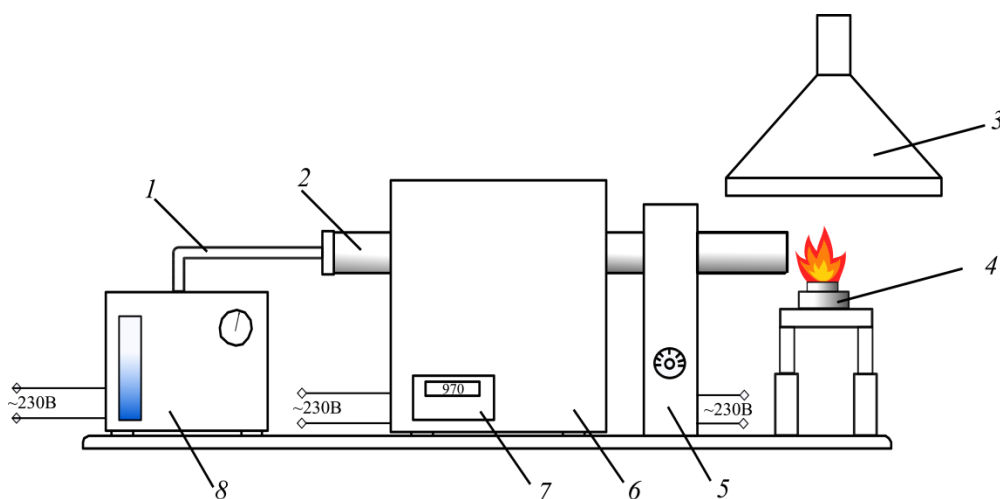


Рис. 2. Схема стендовой установки для активации угля-сырца: 1 – паропровод; 2 – реактор; 3 – вытяжной конус; 4 – горелка; 5 – редуктор; 6 – трубчатая печь; 7 – терморегулятор; 8 – парогенератор

Адсорбционную активность угля по иоду (X , %) вычисляли по следующей формуле:

$$X = \frac{(V_1 - V_2)0,0127 \cdot 100 \cdot 100}{10m},$$

где V_1 – объем раствора тиосульфата натрия концентрацией 0,1 моль/дм³ (0,1 н.), израсходованный на титрование 10 см³ раствора иода в иодистом калии до обработки углем, см³;

V_2 – объем раствора тиосульфата натрия концентрацией 0,1 моль/дм³ (0,1 н.), израсходованный на титрование 10 см³ раствора иода в иодистом калии после обработки углем, см³;

0,0127 – масса иода, соответствующая 1 см³ раствора тиосульфата натрия концентрацией 0,1 моль/дм³ (0,1 н.), г;

100 – объем раствора иода в иодистом калии, взятый для осветления углем, см³;

m – масса навески угля, г.

Общая площадь поверхности и объем пор образцов найдены измерением адсорбции азота при 77 К на автоматизированной системе ASAP-2020 («Micrometrics»). Для определения удельной площади поверхности $S_{\text{ВЕТ}}$ использована модель Браунауэра–Эмета–Теллера (ВЕТ). Объем ($V_{\text{пор}}$, см³/г) и диаметр ($D_{\text{пор}}$, нм) пор образцов вычислены методами соответственно Баррета–Джойнера–Халенда (ВН) и t-анализа.

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе пиролиза было получено 53,8 г угля-сырца (35,6% от абс. сухого сырья (а.с.с.)); 72,8 г жидких (31,1% от а.с.с.) и 50,4 г газообразных (33,3% от а.с.с.) продуктов. Выход продуктов хорошо согласуется с литературными данными [5, 6]. Итог пиролиза – углеродный материал, сохраняющий природную пористость, присущую бамбуку.

После активации были получены активные угли (АУ) с различной степенью обгара.

Установлено, что увеличение продолжительности обработки приводит к повышению степени обгара, сильный разброс значений которого можно объяснить механическими потерями и другими, пока не выявленными причинами. О степени термохимической обработки конечного материала следует судить по степени обгара, а не по продолжительности активации.

Адсорбционная активность по иоду представляет собой один из важнейших показателей АУ и характеризует их микропористую структуру [1]. Влияние степени обгара на адсорбционную активность углей представлено на рис. 3.

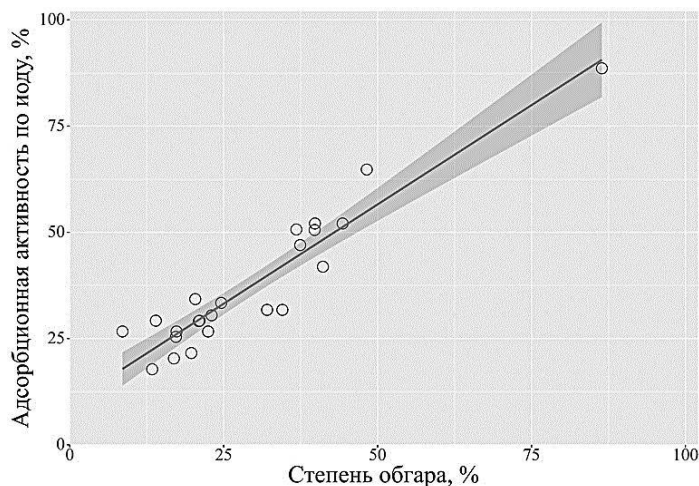


Рис. 3. Адсорбционная активность АУ из бамбука по иоду

Как видно из рис. 3, адсорбционная активность полученных углей изменяется от 20 до 60% и приближается к активности промышленных активированных углей из березы БАУ-А (60%). Увеличение продолжительности активации и, соответственно, степени обгара приводит к развитию пористой структуры, что, как и ожидалось, способствует росту адсорбционной активности АУ.

Согласно классификации IUPAC изотерма адсорбции-десорбции азота для полученного АУ при продолжительности обработки 15 и 25 мин (рис. 4) может быть отнесена к изотерме типа I [13].

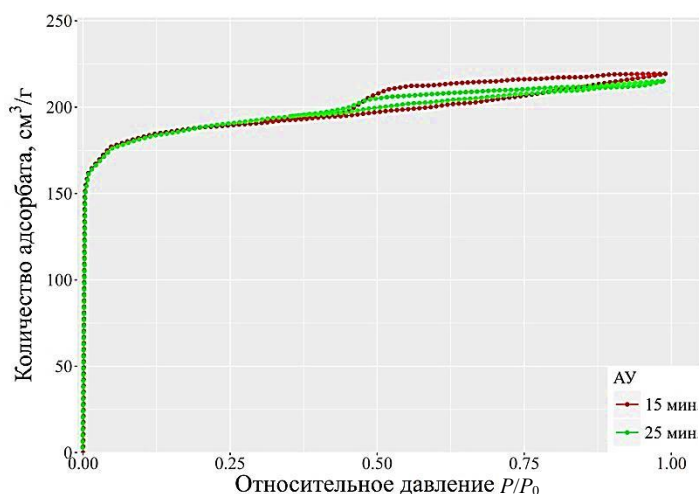
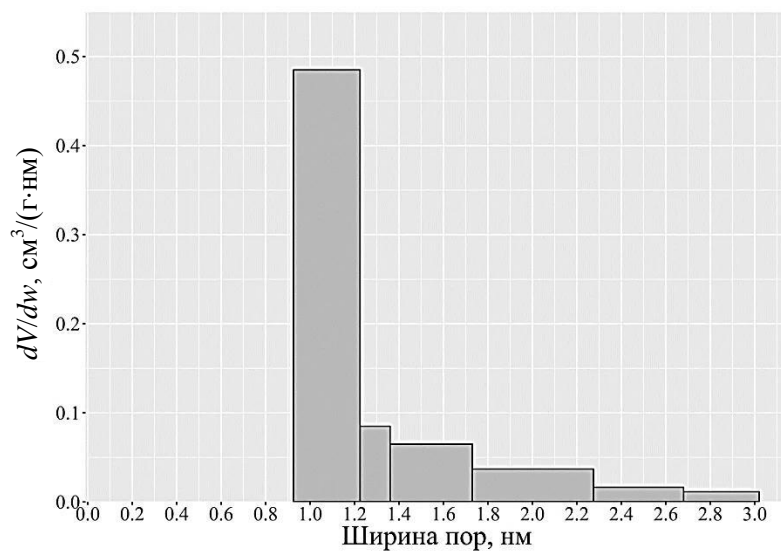
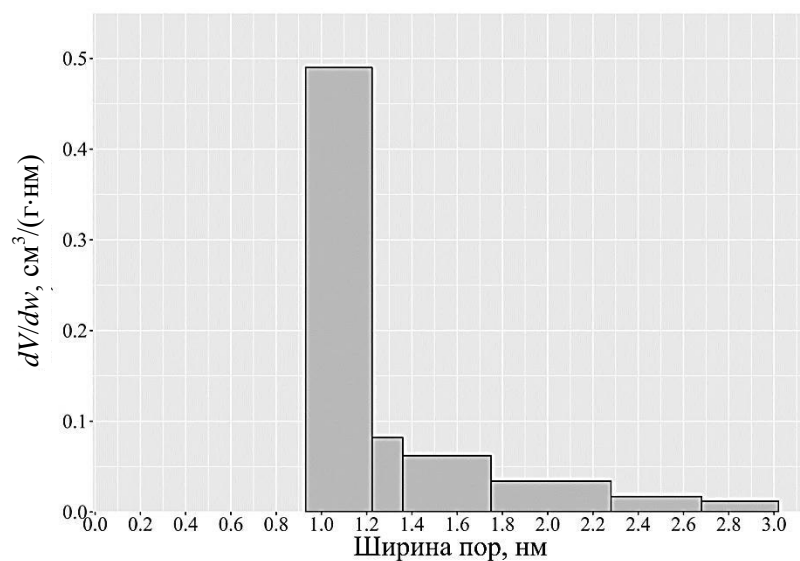


Рис. 4. Изотермы адсорбции АУ из бамбука

Такой вид изотермы указывает на то, что полученный наноструктурный материал имеет в основном микропористую структуру. Диаграммы распределения пор по размерам, представленные на рис. 5, подтверждают это предположение.



a



б

Рис. 5. Распределение пор по ширине для АУ из бамбука при разной продолжительности активации: *a* – 15 мин; *б* – 25 мин

Средняя ширина пор и объем микропор приведены в табл. 1, характеристики удельной поверхности, объем мезо- и микропор для полученного АУ – в табл. 2.

Таблица 1

Характеристики пористости АУ, полученного из бамбука

Продолжительность обработки, мин	Средняя ширина пор (по методу Хорвата–Кавазое), нм	Удельная поверхность, м ² /г, по методу		
		ВЕТ (суммарная)	t-анализ	
			мезо- и макропор	микропор
15	1,13	540,3	80,8	459,6
25	1,13	535,9	65,3	470,6

Таблица 2

Объем пор АУ, полученного из бамбука

Продолжительность обработки, мин	Суммарный объем пор (ВЕТ), см ³ /г	Объем мезопор (1,7...50,0 нм) (ВЛН), см ³ /г	Объем микропор, см ³ /г, по методу			
			ВЕТ	t-анализ	Хорвата–Кавазое	Дубинина–Радужкевича
15	0,33	0,05	0,28	0,26	0,28	0,28
25	0,34	0,06	0,29	0,26	0,29	0,29

В соответствии с принятой методологией рассмотрению подвергались данные в диапазонах относительных давлений $P/P_0 < 0,05$ (табл. 1) и $P/P_0 = 0,05...1,00$ (табл. 2).

Из сравнения данных для образцов АУ с продолжительностью активации 15 и 25 мин видно, что увеличение продолжительности не влияет на характеристики микропористой структуры полученных материалов. Объем микропор колеблется от 0,26 до 0,29 см³/г и практически не зависит от метода определения. Микропоры вносят основной вклад в пористую структуру угля, их объем составляет 85 % от общего объема. Эти данные находятся в соответствии с предыдущим выводом, полученным при рассмотрении изотерм адсорбции, которые характеризуют полученный АУ как микропористый материал.

Удельная площадь поверхности образцов $S_{\text{ВЕТ}}$ во всех экспериментах составляет 540 м²/г, в то время как ранее [14] для неактивированного угля из бамбука $S_{\text{ВЕТ}} = 23$ м²/г. Таким образом, применение парогазовой активации позволило увеличить удельную площадь поверхности по сравнению с приведенной выше работой.

Несмотря на то, что химическая активация с использованием КОН [18] позволила повысить $S_{\text{ВЕТ}}$ у порошкового АУ до 3208 м²/г, считаем, что полученный микропористый структурный материал обладает достаточной удельной площадью поверхности, чтобы его можно было использовать как матрицу для создания гетерогенных структур, которые найдут применение в электрохимических накопителях энергии.

Заключение

Активацией водяным паром впервые получен монолитный углеродный наноструктурный материал, для которого определены сорбционные характеристики, объем микропор, характеристики пористой структуры, удельная площадь поверхности. Четырьмя независимыми методами (Хорвата–Кавазое,

Дубинина–Радужкевича, ВЕТ, t-анализом) найден объем микропор (в среднем $0,28 \text{ см}^3/\text{г}$), который составляет 85 % от общего объема АУ.

Подобные материалы могут быть использованы как матрицы для создания гибридных углеродных структур с развитой подготовленной внутренней поверхностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Джэйлс Ч., Инграм Б., Ключи Дж., Ликлема Я., Лейн Дж., Парфит Г., Рендалл Г., Рочестер К., Флир Г., Хесселинк Ф., Хоу Д. Адсорбция из растворов на поверхностях твердых тел / под ред. Г. Парфита, К. Рочестера. М.: Мир, 1986. 488 с.
2. Оболенская А.В., Ельницкая З.П., Леонович А.А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы. М.: Экология, 1991. 320 с.
3. Ademiluyi F.T., Braide O. Effectiveness of Nigerian Bamboo Activated with Different Activating Agents on the Adsorption of BTX // Journal of Applied Sciences and Environmental Management. 2012. Vol. 16, no. 3. Pp. 267–273.
4. Asada T., Ohkubo T., Kawata K., Oikawa K. Ammonia Adsorption on Bamboo Charcoal with Acid Treatment // Journal of Health Science. 2006. Vol. 52, no. 5. Pp. 585–589.
5. Chen D., Liu D., Zhang H., Chen Y., Li Q. Bamboo Pyrolysis Using TG-FTIR and a Lab-Scale Reactor: Analysis of Pyrolysis Behavior, Product Properties, and Carbon and Energy Yields // Fuel. 2015. Vol. 148. Pp. 79–86.
6. Chen D., Zhou J., Zhang Q. Effects of Heating Rate on Slow Pyrolysis Behavior, Kinetic Parameters and Products Properties of Moso Bamboo // Bioresource Technology. 2014. Vol. 169. Pp. 313–319.
7. González P.G., Pliego-Cuervo Y.B. Physicochemical and Microtextural Characterization of Activated Carbons Produced from Water Steam Activation of Three Bamboo Species // Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. 2013. Vol. 99. Pp. 32–39.
8. Gu X., Wang Y., Lai Ch., Qiu J., Li Sh., Hou Y., Martens W., Mahmood N., Zhang Sh. Microporous Bamboo Biochar for Lithium-Sulfur Batteries // Nano Research. 2015. Vol. 8, no. 1. Pp. 129–139.
9. Hamzah F., Sarif M., Zulkifli F.N.Z., Ismail N.H., Manaf Sh.F.A., Idris A., Ibrahim W.A., Krishnan J. Microwave-Alkali Activation on the Morphology and Structure of Bamboo Activated Carbon // Applied Mechanics & Materials. 2014. Vol. 575. Pp. 154–159.
10. Hirunpraditkoon S., Tunthong N., Ruangchai A., Nuithitikul K. Adsorption Capacities of Activated Carbons Prepared from Bamboo by KOH Activation // World Academy of Science, Engineering and Technology. 2011. Vol. 78. Pp. 711–715.
11. Kantarelis E., Liu J., Yang W., Blasiak W. Sustainable Valorization of Bamboo via High-Temperature Steam Pyrolysis for Energy Production and Added Value Materials // Energy & Fuels. 2010. Vol. 24, no. 11. Pp. 6142–6150.
12. Ma X., Yang H., Yu L., Chen Y., Li Y. Preparation, Surface and Pore Structure of High Surface Area Activated Carbon Fibers from Bamboo by Steam Activation // Materials. 2014. Vol. 7, no. 6. Pp. 4431–4441.
13. Sing K.S.W. Reporting Physisorption Data for Gas / Solid Systems with Special Reference to the Determination of the Surface Area and Porosity (Recommendations 1984) // Pure and Applied Chemistry. 1985. Vol. 57, no. 4. Pp. 603–619.
14. Tan Z., Qiu J., Zeng H., Liu H., Xiang J. Removal of Elemental Mercury by Bamboo Charcoal Impregnated with H_2O_2 // Fuel. 2011. Vol. 90, no. 4. Pp. 1471–1475.
15. Wang S.-Y., Tsai M.-H., Lo Sh.-F., Tsai M.-J. Effects of Manufacturing Conditions on the Adsorption Capacity of Heavy Metal Ions by Makino Bamboo Charcoal // Bioresource Technology. 2008. Vol. 99, iss. 15. Pp. 7027–7033.

16. Wu F.-Ch., Tseng R.-L., Juang R.-Sh. Preparation of Activated Carbons from Bamboo and Their Adsorption Abilities for Dyes and Phenol // Journal of Environmental Science & Health. Part A. 1999. Vol. 34, no. 9. Pp. 1753–1775.

17. Zhang Y.-J., Xing Z.-J., Duan Z.-K. Effects of Steam Activation on the Pore Structure and Surface Chemistry of Activated Carbon Derived from Bamboo Waste // Applied Surface Science. 2014. Vol. 315. Pp. 279–286.

18. Zhao W., Luo L., Wang H., Fan M. Synthesis of Bamboo-Based Activated Carbons with Super-High Specific Surface Area for Hydrogen Storage // BioResources. 2017. Vol. 12, iss. 1. Pp. 1246–1262.

Поступила 14.02.18

UDC 662.71+630*867.5

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.140

Steam Charcoal Activation from Bamboo

*Chu Cong Nghi*¹, Postgraduate Student

*A. A. Spitsyn*¹, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

*K. A. Romanenko*², Postgraduate Student

*D. A. Ponomarev*¹, Doctor of Chemical Sciences, Professor

¹Saint Petersburg State Forest Technical University under name of S.M. Kirov, Institutskiy per., 5, Y, Saint Petersburg, 194021, Russian Federation;

e-mail: congngich19a@gmail.com, spitsyn.andrey@gmail.com, dponomarev1@mail.ru

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

Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation;

e-mail: kristinaromanenko@yandex.ru

The paper studies the pyrolysis of bamboo stems (*Bambos bambusa*) to preserve the original structure in the resulting lump charcoal. Bamboo pieces are subjected to slow pyrolysis in a 4-liter stainless steel reactor equipped with an external electric heater according to the periodic scheme. Activation of lump charcoal is carried out by superheated steam at a temperature of 970 °C. The authors determine the adsorption activity for iodine, specific surface area, volume and pore size distribution for the obtained monolithic nanostructured carbon material. Analysis of sorption-desorption isotherms for the resulting material and pore size distribution diagrams indicate a microporous structure of the resulting material. The volume of micropores established by four different methods, is 0.26...0.29 cm³/g and is practically independent on the method of determination. Micropores make the main contribution to the porous structure of charcoal; their volume comprises the major part (85 %) of the total volume.

Keywords: bamboo, steam activation, active carbon, monolithic carbon, pyrolysis.

REFERENCES

1. Giles C., Ingram B., Clunie J., Lykema J., Lane J., Parfitt G., Rendall H., Rochester C.H., Fleeer G., Hesselink F., Hough D. *Adsorption From Solution at the Solid / Liquid Interface*. Ed. by G.D. Parfitt, C.H. Rochester. London, Academic Press, 1983. 416 p.

For citation: Chu Cong Nghi, Spitsyn A.A., Romanenko K.A., Ponomarev D.A. Steam Charcoal Activation from Bamboo. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2018, no. 4, pp. 140–149. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.140

2. Obolenskaya A.V., El'nitskaya Z.P., Leonovich A.A. *Laboratornye raboty po khimii drevesiny i tsellyulozy* [Laboratory Work on the Chemistry of Wood and Cellulose]. Moscow, Ekologiya Publ., 1991. 320 p. (In Russ.)
3. Ademiluyi F.T., Braide O. Effectiveness of Nigerian Bamboo Activated with Different Activating Agents on the Adsorption of BTX. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 2012, vol. 16, no. 3. pp. 267–273.
4. Asada T., Ohkubo T., Kawata K., Oikawa K. Ammonia Adsorption on Bamboo Charcoal with Acid Treatment. *Journal of Health Science*, 2006, vol. 52, no. 5, pp. 585–589.
5. Chen D., Liu D., Zhang H., Chen Y., Li Q. Bamboo Pyrolysis Using TG-FTIR and a Lab-Scale Reactor: Analysis of Pyrolysis Behavior, Product Properties, and Carbon and Energy Yields. *Fuel*, 2015, vol. 148, pp. 79–86.
6. Chen D., Zhou J., Zhang Q. Effects of Heating Rate on Slow Pyrolysis Behavior, Kinetic Parameters and Products Properties of Moso Bamboo. *Bioresource Technology*, 2014, vol. 169, pp. 313–319.
7. González P.G., Pliego-Cuervo Y.B. Physicochemical and Microtextural Characterization of Activated Carbons Produced from Water Steam Activation of Three Bamboo Species. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 2013, vol. 99, pp. 32–39.
8. Gu X., Wang Y., Lai Ch., Qiu J., Li Sh., Hou Y., Martens W., Mahmood N., Zhang Sh. Microporous Bamboo Biochar for Lithium-Sulfur Batteries. *Nano Research*, 2015, vol. 8, no. 1, pp. 129–139.
9. Hamzah F., Sarif M., Zulkifli F.N.Z., Ismail N.H., Manaf Sh.F.A., Idris A., Ibrahim W.A., Krishnan J. Microwave-Alkali Activation on the Morphology and Structure of Bamboo Activated Carbon. *Applied Mechanics & Materials*, 2014, vol. 575, pp. 154–159.
10. Hirunpraditkoon S., Tunthong N., Ruangchai A., Nuthitikul K. Adsorption Capacities of Activated Carbons Prepared from Bamboo by KOH Activation. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 2011, vol. 78, pp. 711–715.
11. Kantarelis E., Liu J., Yang W., Blasiak W. Sustainable Valorization of Bamboo via High-Temperature Steam Pyrolysis for Energy Production and Added Value Materials. *Energy & Fuels*, 2010, vol. 24, no. 11, pp. 6142–6150.
12. Ma X., Yang H., Yu L., Chen Y., Li Y. Preparation, Surface and Pore Structure of High Surface Area Activated Carbon Fibers from Bamboo by Steam Activation. *Materials*, 2014, vol. 7, no. 6, pp. 4431–4441.
13. Sing K.S.W. Reporting Physisorption Data for Gas / Solid Systems with Special Reference to the Determination of the Surface Area and Porosity (Recommendations 1984). *Pure and Applied Chemistry*, 1985, vol. 57, no. 4, pp. 603–619.
14. Tan Z., Qiu J., Zeng H., Liu H., Xiang J. Removal of Elemental Mercury by Bamboo Charcoal Impregnated with H₂O₂. *Fuel*, 2011, vol. 90, no. 4, pp. 1471–1475.
15. Wang S.-Y., Tsai M.-H., Lo Sh.-F., Tsai M.-J. Effects of Manufacturing Conditions on the Adsorption Capacity of Heavy Metal Ions by Makino Bamboo Charcoal. *Bioresource Technology*, 2008, vol. 99, no. 15, pp. 7027–7033.
16. Wu F.-Ch., Tseng R.-L., Juang R.-Sh. Preparation of Activated Carbons from Bamboo and Their Adsorption Abilities for Dyes and Phenol. *Journal of Environmental Science & Health, Part A*, 1999, vol. 34, no. 9, pp. 1753–1775.
17. Zhang Y.-J., Xing Z.-J., Duan Z.-K. Effects of Steam Activation on the Pore Structure and Surface Chemistry of Activated Carbon Derived from Bamboo Waste. *Applied Surface Science*, 2014, vol. 315, pp. 279–286.
18. Zhao W., Luo L., Wang H., Fan M. Synthesis of Bamboo-Based Activated Carbons with Super-High Specific Surface Area for Hydrogen Storage. *BioResources*, 2017, vol. 12, no. 1, pp. 1246–1262.

Received on February 14, 2018

УДК 661.183.3

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.150

СИНТЕЗ МАГНИТОВОСПРИИМЧИВЫХ АДсорбЕНТОВ НА ОСНОВЕ ГИДРОЛИЗНОГО ЛИГНИНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОКСИДА ЖЕЛЕЗА(III)

*М.А. Архилин¹, асп.**Н.И. Богданович¹, д-р техн. наук, проф.**С.В. Ефремова², д-р техн. наук, проф., гл. учен. секретарь*¹Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова,

наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002;

e-mail: m.arhilin@narfu.ru, n.bogdanovich@narfu.ru

²Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья Республики

Казахстан, ул. Жандосова, д. 67, г. Алматы, Республика Казахстан, 050036;

e-mail: s_yefremova@cmrp.kz

Адсорбционные методы являются одними из наиболее распространенных при разделении химических веществ, однако внедрение адсорбционных технологий разделения сдерживается рядом факторов. Использование порошковых адсорбентов, обладающих магнитными свойствами, позволит интенсифицировать процессы адсорбции и отделения адсорбента от очищаемой фазы. Предлагаемые в настоящее время способы синтеза магнитовосприимчивых адсорбентов в большинстве своем многостадийны, сложны и дорогостоящи. Цель исследования – разработка простого и недорогого способа их синтеза путем пиролиза с использованием в качестве углеродсодержащего сырья гидролизного лигнина – крупнотоннажного отхода гидролизных производств, а в качестве активирующего агента и источника магнитных форм железа – оксида железа(III). Синтез адсорбентов проводился методом планированного эксперимента. Изучалось влияние условий синтеза (содержание оксида железа(III) в исходной смеси, температура, продолжительность пиролиза) на свойства получаемых продуктов, определялись адсорбционная активность адсорбентов по метиленовому голубому и по иоду, относительная магнитная восприимчивость, а также параметры пористой структуры адсорбентов (суммарный объем сорбирующих пор, объем микро- и мезопор). Пористую структуру исследовали методом низкотемпературной адсорбции азота. По адсорбционным показателям полученные магнитовосприимчивые адсорбенты превосходят ближайшие аналоги: максимальная адсорбционная активность по метиленовому голубому – 316 мг/г, что почти в 1,5 раза выше требований ГОСТ 4453–74 к осветляющему углю марки ОУ-Б; максимальная адсорбционная активность по иоду – 1290 мг/г, что в 2 раза выше требований ГОСТ 6217–74 к активному углю БАУ-А; относительная магнитная восприимчивость – в среднем в 2 раза выше, чем у магнетита; максимальный объем сорбирующих, микро- и мезопор – соответственно 0,200; 0,076 и 0,113 см³/г. Таким образом, адсорбенты, синтезированные по предложенному нами способу, показали хорошие адсорбционные и магнитные свойства и могут найти широкое применение в науке и технике. Кроме того, промышленное производство магнитовосприимчивых сорбентов на основе гидролизного лигнина позволит увеличить рентабельность гидролизных производств за счет выпуска ценного продукта и в некоторой мере решить проблему утилизации отвалов лигнина.

Ключевые слова: гидролизный лигнин, магнитовосприимчивый адсорбент, оксид железа(III), пористая структура, адсорбционные свойства.

Для цитирования: Архилин М.А., Богданович Н.И., Ефремова С.В. Синтез магнитовосприимчивых адсорбентов на основе гидролизного лигнина с использованием оксида железа(III) // Лесн. журн. 2018. № 4. С. 150–160. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.150

Введение

Наиболее распространенные способы разделения химических веществ базируются на использовании методов адсорбции. Однако внедрение адсорбционных технологий разделения сдерживается рядом факторов. В частности, при использовании крупных гранул адсорбента процесс извлечения целевых компонентов сильно замедляется. Применение порошковых адсорбентов хотя и значительно ускоряет адсорбцию, однако стадия отделения обработанного раствора от адсорбента лимитирует процесс. Наиболее часто в промышленности для этой цели используют фильтрацию, представляющую собой многостадийную и сложную процедуру. Предлагаются новые способы отделения адсорбента от обрабатываемой фазы, наиболее перспективным считается использование магнитовосприимчивых адсорбентов (МВА) с последующим отделением их методами электромагнитной сепарации [13].

Чаще применяются следующие способы синтеза МВА: самосборка металлокомплекса в растворе с последующей его полимеризацией и пиролизом полученного полимера [13]; синтез магнитных наночастиц (магнетит, ферриты) и применение их в качестве сорбента в неизменном [8] либо модифицированном виде [10]; пиролиз углеродсодержащего сырья в присутствии магнитных частиц [12]; модифицирование адсорбентов магнитными наночастицами [9]; химическое осаждение углерода из паровой фазы на магнитные частицы [11]; пропитка пористого углеродсодержащего сырья или адсорбентов солями железа с последующим пиролизом [5, 7].

Перечисленные выше способы слишком сложны, чтобы их можно было использовать в промышленности, а применяемые реагенты не дешевы. Это негативно сказывается на себестоимости готового продукта. На наш взгляд, рациональнее разрабатывать более экономичные способы [1, 6].

Цель исследования – разработка простого и недорогого способа синтеза МВА путем пиролиза с использованием в качестве сырья отходов переработки древесины (опилки, лигнин, кора и т. д.), а в качестве источника магнитных форм железа – его солей.

Для выполнения поставленной цели было выдвинуто предположение о том, что для получения МВА достаточно простого механического смешения углеродсодержащего сырья и оксида железа(III) с последующим совместным пиролизом полученной смеси. Для проверки данной гипотезы был проведен синтез МВА по упрощенному способу, отличающемуся от разработанного ранее [1, 2], который заключался в осаждении гидроксида железа(III) из раствора в присутствии углеродсодержащего сырья с последующей промывкой и пиролизом полученной смеси. В обоих случаях в процессе пиролиза происходит термохимическая активация углеродсодержащего сырья, в котором кислородсодержащие соединения железа являются одновременно активирующим агентом и источником магнитных форм железа. В результате этого часть углеродной матрицы выгорает, восстанавливая железо в зависимости от условий до магнитовосприимчивых магнетита Fe_3O_4 , металлического железа $\alpha-Fe$ и цементита Fe_3C либо до немагнитного вюстита FeO [5].

В качестве недорогого углеродсодержащего сырья использовался гидролизный лигнин (ГЛ) – крупнотоннажный отход гидролизных производств. Активирующий агент (Fe_2O_3) – широко распространенный недорогой материал, который, в частности, применяется как пигмент в лакокрасочной промышленности.

Объекты и методы исследования

Гидролизный лигнин, отобранный из отвалов Архангельского гидролизного завода, имеет следующий компонентный состав, %: лигнин Класона – 70,1; трудногидролизуемые полисахариды – 11,9; экстрактивные вещества – 14,3; зола – 3,7. Элементный состав ГЛ, %: углерод (С) – 61,2; кислород (О) – 32,1; водород (Н) – 6,7.

Оксид железа(III) квалификации х. ч. (98 % Fe_2O_3), произведенный ОАО «Реактив» по ГОСТ 4174–77, представляет собой красно-коричневый порошок тонкого помола влажностью 3 %; остаток на сите (размер отверстий – 0,1 мм) $\leq 0,3$ %.

Адсорбционные свойства МВА изучали по стандартным методикам [3, 4]. Для адсорбции из жидкой фазы использовали растворы метиленового голубого (МГ) и иода (I_2). Определение пористой структуры проводили методом низкотемпературной адсорбции азота на анализаторе удельной поверхности и пористости ASAP 2020 mp («Micrometrics», США). Предварительно образец подвергали дегазации при температуре 350 °С в течение 2 ч до остаточного давления 0,7 мПа. Навеска образца – 20...30 мг. Суммарный объем сорбирующих пор V_Σ рассчитывали по уравнению БЭТ, объем микропор V_{mi} – по t-методу, объем мезопор – по разности $V_\Sigma - V_{mi}$.

Относительную магнитную восприимчивость (ОМВ) измеряли на весах Гюи по специально разработанной методике [7]. Отклонение показаний весов при внесении навески исследуемого образца массой 97...103 мг относили к его массе; полученную величину делили на значение для равной навески магнетита (100 мг) и выражали в процентах.

Фракцию ГЛ (размер частиц – менее 1 мм, влажность – 9 %) перемешивали с порошком оксида железа(III) и растирали в фарфоровой ступке пестиком в течение 3 мин для наилучшего диспергирования Fe_2O_3 в порошке ГЛ. Полученную смесь количественно пересыпали в кварцевую трубку и подвергали пиролизу в трубчатой печи СУОЛ-0.44 («Utena», Литва) в атмосфере образующихся парогазов. Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1.

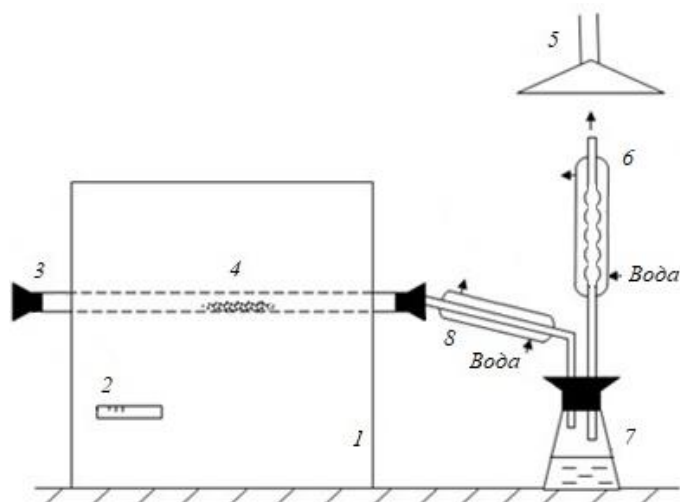


Рис. 1. Схема установки для пиролиза: 1 – электрическая печь; 2 – контроллер; 3 – кварцевая трубка; 4 – образец; 5 – вытяжное устройство; 6 – обратный холодильник; 7 – конденсатор-приемник; 8 – холодильник Либиха

В ходе предварительных опытов были получены обнадеживающие результаты, поэтому была синтезирована целая серия МВА (кодовое название – ФМА ГЛ). Синтез и исследование свойств МВА проводили методом планированного эксперимента. В качестве плана был применен центральный композиционный ротатабельный униформ-план второго порядка для трех факторов. Варьируемые параметры: массовая доля оксида железа(III) – $\omega(\text{Fe}_2\text{O}_3)$; температура пиролиза – $T_{\text{пир}}$; продолжительность пиролиза – τ . Значения и интервалы варьирования факторов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Матрица планирования эксперимента

Фактор	Шаг варьирования λ	Уровни варьирования факторов				
		-1,682 (- λ)	-1	0	+1	1,682 (+ λ)
$X_1 - \omega(\text{Fe}_2\text{O}_3), \%$	6	40	44	50	56	60
$X_2 - T_{\text{пир}}, ^\circ\text{C}$	15	900	910	925	940	950
$X_3 - \tau, \text{мин}$	6	20	24	30	36	40

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе экспериментов изучали влияние варьируемых факторов на ОМВ МВА, адсорбционную активность по МГ ($A(\text{МГ})$) и по иоду ($A(\text{I}_2)$). По полученным данным рассчитывали коэффициенты для уравнений регрессии, оценивали их значимость. Адекватность полученных уравнений со значимыми коэффициентами проверяли по критерию Фишера. На основе этих уравнений строили поверхности отклика, которые наглядно иллюстрируют характер влияния условий синтеза МВА на свойства исследуемых адсорбентов.

Все уравнения регрессии (1)–(6) оказались адекватными (критерий Фишера не превышал критических значений), т. е. их можно использовать в качестве математических моделей, описывающих синтез МВА в заданном интервале варьирования факторов.

Уравнение регрессии для ОМВ адсорбентов серии ФМА ГЛ имеет следующий вид:

$$\text{ОМВ} = 151 + 18X_2 + 26X_3 + 16X_1X_2. \quad (1)$$

На основе уравнения (1) были построены поверхности отклика, отраженные на рис. 2.

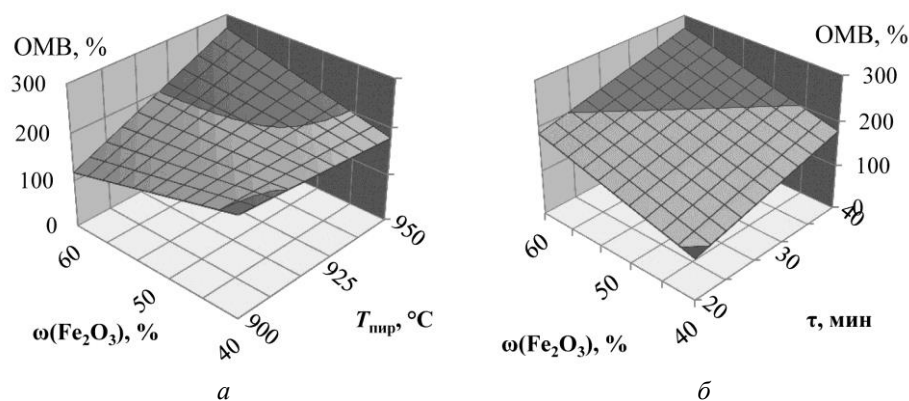


Рис. 2. Влияние условий синтеза на ОМВ: а – $\tau = 40$ мин; б – $T_{\text{пир}} = 950$ °С

Как видно из уравнения (1) и характера поверхностей (рис. 2), влияние всех трех факторов на магнитные свойства положительное, а значение ОМВ максимально при $\omega(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 60\%$, $T_{\text{пир}} = 950^\circ\text{C}$, $\tau = 40$ мин и достигает 270 % (в 2,7 раза больше, чем для магнетита).

Уравнение регрессии для $A(\text{МГ})$ адсорбентов имеет следующий вид:

$$A(\text{МГ}) = 188 - 16X_1X_3 - 16X_2X_3 + 14X_3^2. \quad (2)$$

На основе уравнения (2) были построены поверхности отклика (рис. 3).

Коэффициенты уравнения (2) иллюстрируют сложное межфакторное взаимодействие (рис. 3). Максимальное значение $A(\text{МГ})$ составляет 316 мг/г (при $\omega(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 60\%$, $T_{\text{пир}} = 950^\circ\text{C}$, $\tau = 20$ мин) и почти в 1,5 раза превышает требования ГОСТ 4453–74 [3] к ближайшему аналогу – осветляющему углю марки ОУ-Б ($A(\text{МГ}) \geq 220$ мг/г).

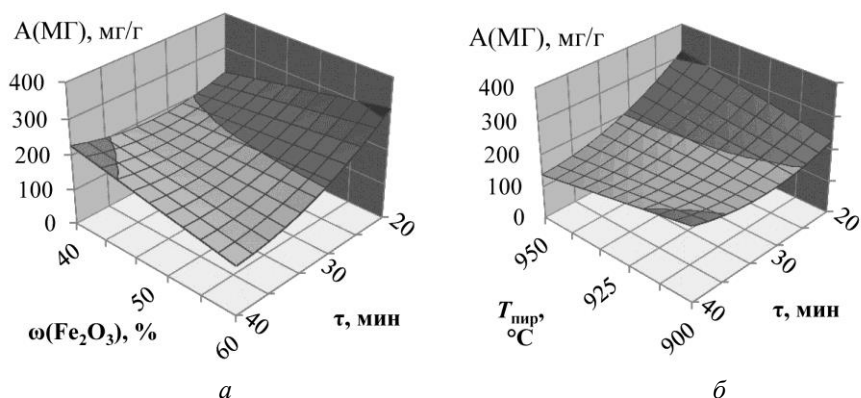


Рис. 3. Влияние условий синтеза на адсорбционную активность по МГ:
а – $T_{\text{пир}} = 950^\circ\text{C}$; б – $\omega(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 60\%$

Уравнение регрессии для $A(\text{I}_2)$ сорбентов представлено ниже:

$$A(\text{I}_2) = 1054 + 48X_2 + 73X_3 + 59X_2X_3 - 30X_1^2 - 47X_3^2. \quad (3)$$

Положительное влияние на адсорбционную активность по иоду оказывают продолжительность пиролиза и температура (рис. 4). Зависимость

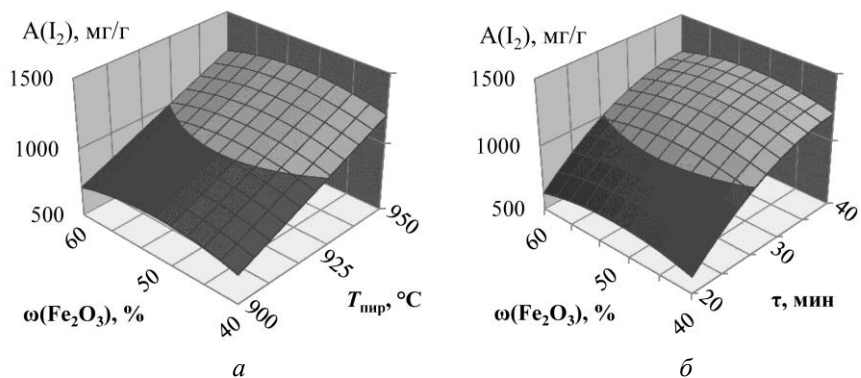


Рис. 4. Влияние условий синтеза на адсорбционную активность по иоду:
а – $\tau = 40$ мин; б – $T_{\text{пир}} = 950^\circ\text{C}$

от дозировки оксида железа(III) проходит через максимум в центре плана. Оптимальные условия: $\omega(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 50\%$; $T_{\text{пир}} = 950\text{ }^\circ\text{C}$; $\tau = 40$ мин. Максимальное значение $A(I_2)$ составляет 1290 мг/г, что в 2 раза выше требований ГОСТ 6217–74 [4] к микропористому активному углю марки БАУ-А ($A(I_2) \geq 600$ мг/г).

Уравнение регрессии для суммарного объема сорбирующих пор имеет вид:

$$V_{\Sigma} = 0,127 - 0,011X_1 + 0,004X_2 + 0,011X_3 + 0,009X_2X_3. \quad (4)$$

Повышение $T_{\text{пир}}$ и τ положительно сказывается на объеме пор, а рост $\omega(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ наоборот приводит к снижению V_{Σ} (рис. 5).

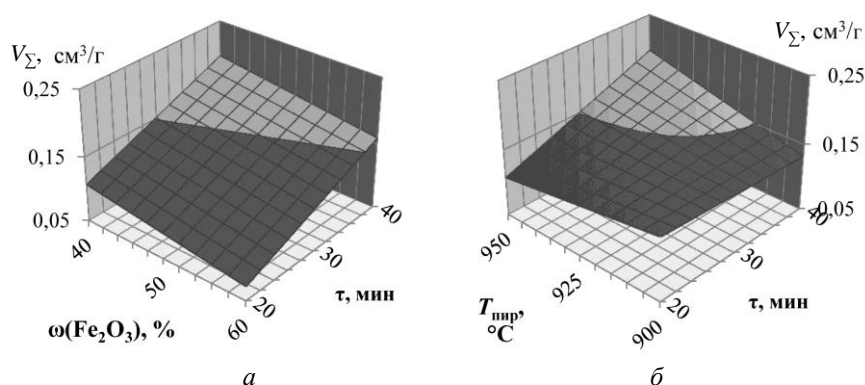


Рис. 5. Влияние условий синтеза на суммарный объем пор адсорбентов:

а – $T_{\text{пир}} = 950\text{ }^\circ\text{C}$; *б* – $\omega(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 40\%$

Область условного оптимума: $\omega(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 40\%$; $T_{\text{пир}} = 950\text{ }^\circ\text{C}$; $\tau = 40$ мин. В данных условиях $V_{\Sigma} = 0,20\text{ см}^3/\text{г}$, а максимальный объем пор в 2 раза ниже, чем у промышленных активных углей марок БАУ-А и ОУ-Б (V_{Σ} – соответственно 0,30 и 0,47 $\text{см}^3/\text{г}$). Однако это не сказывается на уровне $A(\text{МГ})$, так как объем пор – далеко не единственный фактор, влияющий на адсорбционную активность. Многое зависит от физической и химической природы адсорбента и адсорбата: соотношения размеров молекул и пор, полярности, возможности хемосорбции и т. д.

Рассмотрим влияние исследуемых факторов на формирование отдельно мезо- и микропор.

Уравнение регрессии для объема мезопор выглядит следующим образом:

$$V_{me} = 0,050 + 0,009X_3 - 0,005X_1X_2 + 0,009X_2X_3 + 0,003X_3^2. \quad (5)$$

Наибольшие значения V_{me} отмечаются при максимальных температуре и продолжительности пиролиза (рис. 6).

Область условного оптимума совпадает с таковой для суммарного объема пор: $\omega(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 40\%$; $T_{\text{пир}} = 950\text{ }^\circ\text{C}$; $\tau = 40$ мин. В этих условиях $V_{me} = 0,113\text{ см}^3/\text{г}$.

Уравнение регрессии для объема микропор:

$$V_{mi} = 0,076 - 0,003X_1^2 - 0,002X_2^2 - 0,003X_3^2. \quad (6)$$

Максимальное значение объема мезопор ($V_{mi} = 0,076 \text{ см}^3/\text{г}$) находится в центре плана (рис. 7), и любое отклонение от этой точки ($\omega(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 50 \%$; $T_{\text{пир}} = 925 \text{ }^\circ\text{C}$; $\tau = 30 \text{ мин}$) влияет на V_{mi} негативно.

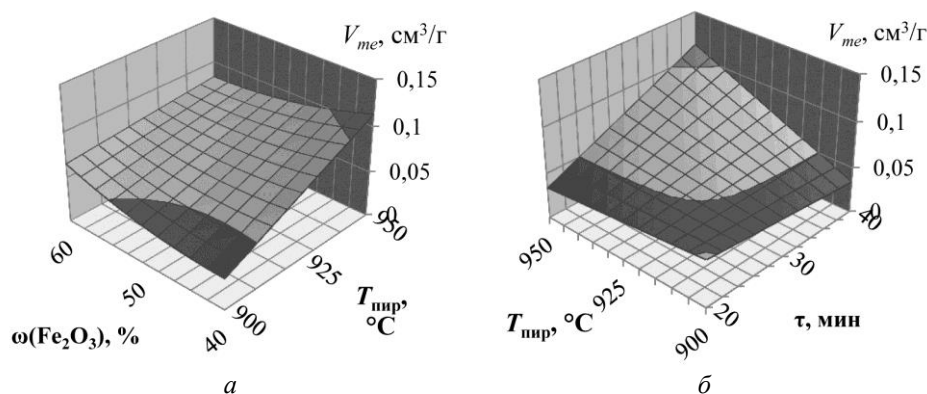


Рис. 6. Влияние условий синтеза на объем мезопор: *a* – $\tau = 40 \text{ мин}$; *б* – $\omega(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 40 \%$

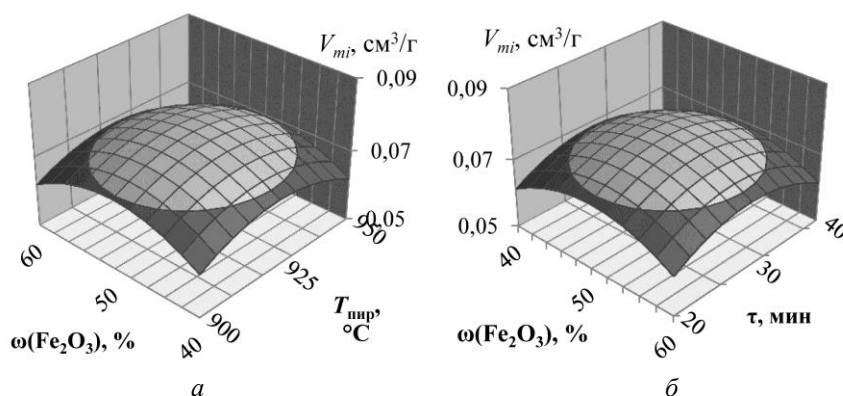


Рис. 7. Влияние условий синтеза на объем микропор: *a* – $\tau = 30 \text{ мин}$; *б* – $T_{\text{пир}} = 925 \text{ }^\circ\text{C}$

Сравнение максимальных значений объемов микро- и мезопор ($0,076$ и $0,113 \text{ см}^3/\text{г}$) позволяет утверждать, что получаемые по данному способу МВА имеют преимущественно мезопористую структуру, и с этим связано некоторое предпочтение А(МГ) в качестве ключевого индикатора при направленном синтезе МВА. Сумма объемов микро- и мезопор несколько меньше, чем суммарный объем пор. Это связано с тем, что все три параметра были рассчитаны разными методами, основанными на определенных допущениях и имеющими разную точность.

При синтезе МВА важно получать одновременно высокие адсорбционные и магнитные свойства, поэтому нами было определено значение ОМВ в условиях, оптимальных для других выходных параметров из исследуемого интервала варьирования факторов (табл. 2).

Таблица 2

Сопоставление максимальных значений выходных параметров и значения ОМВ

Выходной параметр	Максимальное значение параметра	Условия получения адсорбента			ОМВ, %
		$\omega(\text{Fe}_2\text{O}_3)$, %	$T_{\text{шпр}}$, °С	τ , мин	
A(MГ), мг/г	316±32	40	900	40	209
A(I ₂), мг/г	1290±130	50	950	40	224
ОМВ, %	270±27	60	950	40	270
V_{Σ} , см ³ /г	0,20±0,02	40	950	40	178
V_{me} , см ³ /г	0,113±0,011	40	950	40	178
V_{mi} , см ³ /г	0,076±0,008	50	925	30	150

Как видно из табл. 2, полученные адсорбенты обладают высокими как адсорбционными, так и магнитными свойствами. При этом в условиях, оптимальных для синтеза МВА с наилучшими значениями A(MГ) и A(I₂), магнитная восприимчивость адсорбента в 2 раза превышает этот показатель для магнетита, что достаточно для легкого отделения адсорбента методом электромагнитной сепарации.

Заключение

Таким образом, предложенный способ синтеза позволяет получать из недорогого крупнотоннажного сырья (гидролизного лигнина и оксида железа (III)) адсорбенты с хорошими адсорбционными и магнитными свойствами. Это даст возможность в будущем не только широко использовать магнитовосприимчивые адсорбенты и тем самым интенсифицировать адсорбционные процессы, но и повысить рентабельность гидролизных производств за счет выпуска ценного продукта и решить проблему утилизации отвалов гидролизного лигнина.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Архилин М.А., Богданович Н.И. Адсорбционные и магнитные свойства магнитовосприимчивых адсорбентов, полученных на основе гидролизного лигнина // Лесн. журн. 2016. № 2. С. 131–140. (Изв. высш. учеб. заведений).
2. Богданович Н.И., Архилин М.А., Меньшина А.А., Кузнецова Л.Н., Канарский А.В. Магнитовосприимчивые адсорбенты на основе термически активированного гидролизного лигнина и гидроксида железа(III) // Вестн. технол. ун-та. 2015. Т. 18, № 11. С. 111–116.
3. ГОСТ 4453–74. Уголь активный осветляющий древесный порошкообразный. Технические условия. Введ. 1976–01–01. М.: Изд-во стандартов, 1993. 21 с.
4. ГОСТ 6217–74. Уголь активный древесный дробленый. Технические условия. Введ. 1976–01–01. М.: Изд-во стандартов, 2003. 8 с.
5. Заявка 2016130456 Российская Федерация, МПК В 01 J 20/02, В 01 J 20/20, В 01 J 20/20. Способ получения магнитовосприимчивого адсорбента / Архилин М.А., Богданович Н.И. Приоритет 26.07.2016. 7 с.
6. Пат. 2445156 Российская Федерация. Способ получения ферромагнитного углеродного адсорбента / Цыганова С.И., Патрушев В.В. 2012, Бюл. № 8.
7. Хабаров Ю.Г., Бабкин И.М., Вешняков В.А. Влияние кислоты при нитрозировании лигносульфонатов на их способность к пептизации магнитоактивного соединения на основе сульфата железа(II) // Лесн. журн. 2011. № 5. С. 106–111. (Изв. высш. учеб. заведений).

8. Giraldo L., Erto A., Moreno-Pirajan J.C. Magnetite Nanoparticles for Removal of Heavy Metals from Aqueous Solutions: Synthesis and Characterization // *Adsorption*. 2013. Vol. 19, iss. 2-4. Pp. 465–474. DOI: 10.1007/s10450-012-9468-1

9. Lompe K.M., Menard D., Barbeau B. Performance of Biological Magnetic Powdered Activated Carbon for Drinking Water Purification // *Water Research*. 2016. Vol. 96. Pp. 42–51. DOI: 10.1016/j.watres.2016.03.040

10. Müller C., Wagner K., Frankenfeld K., Franzreb M. Simplified Purification of Equine Chorionic Gonadotropin (eCG) – an Example of the Use of Magnetic Microsorbents for the Isolation of Glycoproteins from Serum // *Biotechnology Letters*. 2011. Vol. 33, iss. 5. Pp. 929–936. DOI: 10.1007/s10529-010-0512-5

11. Tristão J.C., Ardisson J.D., Sansiviero M.T.C., Lago R.M. Reduction of Hematite with Ethanol to Produce Magnetic Nanoparticles of Fe₃O₄, Fe_{1-x}O or Fe⁰ Coated with Carbon // *Hyperfine Interactions*. 2010. Vol. 195, iss. 1–3. Pp. 15–19. DOI: 10.1007/s10751-009-0095-5

12. Wang T., Liang L., Wang R., Jiang Y., Lin K., Sun J. Magnetic Mesoporous Carbon for Efficient Removal of Organic Pollutants // *Adsorption*. 2012. Vol. 18, iss. 5-6. Pp. 439–444. DOI: 10.1007/s10450-012-9430-2

13. Yao J., Li L., Song H., Liu Ch., Chen X. Synthesis of Magnetically Separable Ordered Mesoporous Carbons from F127/[Ni(H₂O)₆](NO₃)₂/Resorcinol-Formaldehyde Composites // *Carbon*. 2009. Vol. 47, iss. 2. Pp. 436–444.

Поступила 13.01.18

UDC 661.183.3

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.150

Synthesis of Magneto-Susceptible Adsorbents on the Basis of Hydrolytic Lignin Using Iron(III) Oxide

M.A. Arkhilin¹, Postgraduate Student

N.I. Bogdanovich¹, Doctor of Engineering Sciences, Professor

S.V. Efremova², Doctor of Engineering Sciences, Professor, Chief Academic Secretary

¹Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: m.arhilin@narfu.ru, n.bogdanovich@narfu.ru

²National Center on Complex Processing of Mineral Raw Materials of the Republic of Kazakhstan, ul. Zhandosova, 67, Almaty, 050036, Republic of Kazakhstan; e-mail: s_yefremova@cmrp.kz

Adsorption methods are one of the most common ways of chemical separation. The introduction of adsorption separation technologies is constrained by a number of factors. The use of powder adsorbents, which possess magnetic properties, will allow intensifying the processes of adsorption and separation of the adsorbent from the phase to be purified. The modern methods for synthesizing magneto-susceptible adsorbents are mostly multi-stage, complex and expensive. The goal of research is to develop a simple and inexpensive way for their synthesis by pyrolysis using hydrolytic lignin as a carbon-containing raw material, which is the large-scale waste of hydrolysis plants, and iron(III) oxide as an activating agent and source of magnetic forms of iron. Synthesis of adsorbents is carried out by the method of a planned experiment. The influence of the synthesis conditions (the iron(III) oxide con-

For citation: Arkhilin M.A., Bogdanovich N.I., Efremova S.V. Synthesis of Magneto-Susceptible Adsorbents on the Basis of Hydrolytic Lignin Using Iron(III) Oxide. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2018, no. 4, pp. 150–160. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.150

tent in the initial mixture, the temperature and duration of pyrolysis) on the properties of the obtained MSA is studied. The adsorption activity of the adsorbents is measured by methylene blue (MB) and iodine, the relative magnetic susceptibility (RMS) and the parameters of the porous structure of adsorbents (the total volume of sorbing pores, the volume of micro- and mesopores) are determined. The porous structure is studied by the method of low-temperature nitrogen adsorption. According to the adsorption parameters, the obtained MSA are superior to the closest analogues. The maximum adsorption activity of MB is 316 mg/g, which is almost 1.5 times higher than GOST 4453–74 requirements for ОУ-Б clarifying carbon; the maximum adsorption activity of iodine is 1290 mg/g, which is 2 times higher than the GOST 6217–74 requirements for БАУ-А active carbon. The relative magnetic susceptibility is on average 2 times higher than that of magnetite; the maximum volume of sorption, micro- and mesopores is 0.200, 0.076 and 0.113 cm³/g, respectively. The adsorbents synthesized by the proposed method demonstrate good adsorption and magnetic properties and can be applied in science and technology. In addition, the industrial production of MSA on the basis of hydrolytic lignin will increase the profitability of hydrolysis industries by producing a valuable product and to some extent solve the problem of utilization of lignin dumps.

Keywords: hydrolytic lignin, magneto-susceptible adsorbent, iron(III) oxide, porous structure, adsorption properties.

REFERENCES

1. Arkhilin M.A., Bogdanovich N.I. Adsorbtsionnye i magnitnye svoystva magnitovospriimchivyykh adsorbentov, poluchennykh na osnove gidroliznogo lignina [Adsorption and Magnetic Properties of Magneto Susceptible Adsorbents, Obtained on the Basis of Hydrolytic Lignin]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2016, no. 2, pp. 131–140.
2. Bogdanovich N.I., Arkhilin M.A., Men'shina A.A., Kuznetsova L.N., Kanarskiy A.V. Magnitovospriimchivye adsorbenty na osnove termicheski aktivirovannogo gidroliznogo lignina i gidroksida zheleza(III) [Magneto-susceptible Adsorbents Based on Thermally Activated Hydrolytic Lignin and Iron(III) Hydroxide]. *Vestnik Kazanskogo Tekhnologicheskogo Universiteta* [Herald of Kazan Technological University], 2015, vol. 18, no. 11, pp. 111–116.
3. GOST 4453–74. Ugol' aktivnyy osvetlyayushchiy drevesnyy poroshkoobraznyy. *Tekhnicheskie usloviya* [State Standard 4453–74. Active Adsorbing Powder Charcoal. Specifications]. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1993. 21 p. (In Russ.)
4. GOST 6217–74. Ugol' aktivnyy drevesnyy droblenny. *Tekhnicheskie usloviya* [Wood Crushed Activated Carbon. Specifications]. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 2003. 8 p. (In Russ.)
5. Arkhilin M.A., Bogdanovich N.I. *Sposob polucheniya magnitovospriimchivogo adsorbenta* [The Method of Obtaining a Magneto-Susceptible Adsorbent]. Patent RF, no. 2016130456, 2016. 7 p.
6. Tsyganova S.I., Patrushev V.V. *Sposob polucheniya ferromagnitnogo uglerodnogo adsorbenta* [The Method of Obtaining a Ferromagnetic Carbon Adsorbent]. Patent RF, no. 2445156, 2012.
7. Khabarov Yu.G., Babkin I.M., Veshnyakov V.A. Vliyanie kisloty pri nitrozirovanii lignosul'fonatov na ikh sposobnost' k peptizatsii magnitoaktivnogo soedineniya na osnove sul'fata zheleza(II) [Acid Effect Usage for Lignosulfonates Nitrosation on Their Ability to Peptization of Magnetoactive Compounds Based on Ferrous Sulfate(II)]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2011, no. 5, pp. 106–111.
8. Giraldo L., Erto A., Moreno-Pirajan J.C. Magnetite Nanoparticles for Removal of Heavy Metals from Aqueous Solutions: Synthesis and Characterization. *Adsorption*, 2013, vol. 19, iss. 2-4, pp. 465–474. DOI: 10.1007/s10450-012-9468-1

9. Lompe K.M., Menard D., Barbeau B. Performance of Biological Magnetic Powdered Activated Carbon for Drinking Water Purification. *Water Research*, 2016, vol. 96, pp. 42–51. DOI: 10.1016/j.watres.2016.03.040

10. Müller C., Wagner K., Frankenfeld K., Franzreb M. Simplified Purification of Equine Chorionic Gonadotropin (eCG) – an Example of the Use of Magnetic Microsorbents for the Isolation of Glycoproteins from Serum. *Biotechnology Letters*, 2011, vol. 33, iss. 5, pp. 929–936. DOI: 10.1007/s10529-010-0512-5

11. Tristão J.C., Ardisson J.D., Sansiviero M.T.C., Lago R.M. Reduction of Hematite with Ethanol to Produce Magnetic Nanoparticles of Fe_3O_4 , Fe_{1-x}O or Fe^0 Coated with Carbon. *Hyperfine Interactions*, 2010, vol. 195, iss. 1-3, pp. 15–19. DOI: 10.1007/s10751-009-0095-5

12. Wang T., Liang L., Wang R., Jiang Y., Lin K., Sun J. Magnetic Mesoporous Carbon for Efficient Removal of Organic Pollutants. *Adsorption*, 2012, vol. 18, iss. 5-6, pp. 439–444. DOI: 10.1007/s10450-012-9430-2

13. Yao J., Li L., Song H., Liu Ch., Chen X. Synthesis of Magnetically Separable Ordered Mesoporous Carbons from F127/ $[\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})_6](\text{NO}_3)_2$ /Resorcinol-Formaldehyde Composites. *Carbon*, 2009, vol. 47, iss. 2, pp. 436–444.

Received on January 13, 2018



УДК 579.64:633.878.32

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.161

БАКТЕРИАЛЬНЫЕ ЭНДОФИТЫ ТОПОЛЯ**А.С. Аксенов¹, канд. техн. наук, доц.**Н.А. Кузьмина², мл. науч. сотр.*¹Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: a.s.aksenov@narfu.ru²Институт биогеографии и генетических ресурсов Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики им. академика РАН Н.П. Лаверова, наб. Северной Двины, д. 23, г. Архангельск, Россия, 163000

Биотехнологии дают возможность решать глобальные проблемы устойчивого развития хозяйственной деятельности. Изучение биоразнообразия эндофитных бактерий растений позволяет создавать новые эффективные биопрепараты для адаптивного растениеводства. Цель исследования – выявление эндофитных бактерий тополя в условиях Севера (г. Архангельск). Образцы отбирали в начале октября у кронированных деревьев тополя лавролистного и тополя душистого, не имеющих внешних признаков патологий и стволовой гнили. Исследования основывались на характеристике изолятов, полученных из внутренних участков центральной древесины стволов тополей после поверхностной стерилизации. Опилки изучали методом обрастания. Питательная среда – мясо-пептонный агар. Для определения биохимической активности чистых культур бактерий использовали дифференциально-диагностические среды Гисса, которые включали мальтозу, глюкозу, сахарозу, сорбит, маннит и лактозу. Для изолятов бактерий проводили идентификацию путем секвенирования фрагментов гена 16S рРНК и сравнения полученных последовательностей нуклеотидов с гомологичными из базы данных NCBI's GenBank. При высева опилок на питательную среду отмечалось обрастание их бактериальной массой. Опилки тополя лавролистного обрастали более интенсивно, чем тополя душистого. Из древесины тополя лавролистного выделено 4 штамма бактерий (*Bacillus pumilus*, *Lysinibacillus fusiformis*, *Staphylococcus pasteurii*, *Brenneria salicis*), из древесины тополя душистого – 2 штамма (*Bacillus safensis*, *Brenneria populi*). В статье дана морфологическая и биохимическая характеристика бактерий. Большинство бактерий успешно использовали углеродные компоненты сред Гисса, за исключением сорбита. Способность метаболизировать лактозу и маннит была особенно неустойчивой. Самый широкий спектр углеводов ферментирован штаммами, принадлежащими к роду *Brenneria*.

*Работа выполнена при финансовой поддержке, полученной в рамках базовой части государственного задания Минобрнауки РФ № 15.8815.2017/8.9 «Молекулярно-биологические методы в биотехнологии термостабильных ферментов».

Авторы выражают благодарность за помощь в работе сотрудникам и студентам кафедры биологии, экологии и биотехнологии САФУ: канд. с.-х. наук О.Н. Тюкавиной, И.Г. Синельникову, А.В. Одинцовой.

Для цитирования: Аксенов А.С., Кузьмина Н.А. Бактериальные эндофиты тополя // Лесн. журн. 2018. № 4. С. 161–166. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.161

Ключевые слова: бактериальные эндофиты, тополь лавролиственный, тополь душистый, древесина.

Введение

Биоэкономика является основой устойчивого развития мировой хозяйственной деятельности. Биотехнологии открывают перед человечеством новые возможности по решению многих глобальных проблем, в том числе и в обеспечении продовольствием, снижении неблагоприятного воздействия на окружающую среду [2]. В экологически ориентированном растениеводстве большое внимание уделяется эффективным естественным биологическим методам повышения продуктивности растений и защиты их от патогенов [7]. При правильном использовании закономерностей роста и развития эндофитных микроорганизмов в ассоциации с растениями можно достичь значительных результатов во влиянии на ростовые процессы растений и стимулировании их защитных свойств от стрессов различной природы. Это происходит за счет способности эндофитных бактерий продуцировать растительные гормоны; антибиотические соединения пептидной и низкомолекулярной природы; различные сидерофоры и хелаторы, улучшающие минеральное питание или изолирующие тяжелые металлы и токсические органические вещества; ферменты, вызывающие деградацию клеточных стенок патогенов [3]. Эндофитные бактерии обнаружены в одно- и двудольных растениях, как древесных, так и травянистых [9]. Отечественные ученые выявляли эндофитные бактерии в травянистых растениях [1, 4, 5]. Большое внимание зарубежные ученые уделяют эндофитным бактериям тополя [11, 12], прежде всего в связи с тем, что это биоэнергетическое растение, способное произрастать на маргинальных почвах и использоваться в фиторемедиации [6, 8], характеризуется богатым видовым сообществом эндофитов [13]. Условия произрастания тополя влияют на состав эндофитного сообщества [13]. Изучение биоразнообразия эндофитных бактерий позволит создавать новые эффективные биопрепараты для борьбы с болезнями человека, растений и животных [10] и стимуляции роста растений [7].

Цель работы – выявление эндофитных бактерий тополя в условиях г. Архангельска.

Объекты и методы исследования

Исследования проводили в г. Архангельске в рядовых посадках тополя вдоль Ленинградского проспекта. Образцы отбирали в двукратной повторности в начале октября у кронированных деревьев тополей лавролистного и душистого без внешних признаков патологий и с отсутствием стволовой гнили. Исследования основывались на характеристике изолятов, полученных из внутренних центральных участков древесины стволов тополей после поверхностной стерилизации. Из центральной части кусочков керна получали опилки, которые изучали методом обростания. В качестве питательной среды использовали мясо-пептонный агар. Посевы выдерживали в термостате в течение 3...10 сут при температуре 26...28 °С. Для определения биохимической активности изучаемых чистых культур бактерий применяли дифференциально-диагностические среды Гисса, которые включали мальтозу, глюкозу, сахарозу, сорбит, маннит и лактозу. Посевы инкубировали при температуре 27 °С в течение 48 ч.

Для изолятов бактерий была проведена идентификация путем секвенирования фрагментов гена 16S рРНК и сравнения полученных последовательностей нуклеотидов с гомологичными из базы данных NCBI's GenBank. Секвенирование по Сенгеру производили в ООО «Синтол».

Результаты исследования и их обсуждение

При высеве опилок на питательную среду отмечалось обрастание их бактериальной массой. Опилки тополя лавролистного обрастали более интенсивно по сравнению с опилками тополя душистого.

Из древесины тополя лавролистного выделено 4 штамма бактерий, тополя душистого – 2 штамма бактерий. Изоляты относились к родам *Bacillus*, *Lysinibacillus*, *Staphylococcus*, *Brenneria*:

изолят 1 (штамм *Staphylococcus pasteuri*) – грамположительные кокки, которые образуют бежевую колонию круглой формы с неровным краем и плоским профилем;

изолят 2 (штамм *Bacillus pumilus*) – грамположительные бациллы, образующие бледно-желтую колонию круглой формы с нитевидным краем, плоским профилем, центр которой приподнят;

изолят 3 (штамм *Bacillus safensis*) – грамположительные бациллы, аналогичные по анатомическим и морфологическим признакам изоляту 2. Колонии штамма *Bacillus safensis* характеризуются бледно-желтой или кремовой окраской, круглой формой, ровным краем, плоским профилем и приподнятым центром;

изолят 4 (штамм *Lysinibacillus fusiformis*) – грамположительные бациллы, которые образуют бежевую колонию круглой формы с ровным краем, плоским профилем и приподнятым центром;

изолят 5 (штамм *Brenneria salicis*) – грамотрицательные бациллы, которые образуют бледно-желтую колонию овальной формы с зубчатым краем и плоским профилем;

изолят 6 (штамм *Brenneria populi*) – грамотрицательные бациллы, которые образуют бежевую колонию круглой формы.

При определении биохимической активности установлено, что большинство бактерий успешно использовали сахара, за исключением сорбита. Способность использовать лактозу и маннит была особенно неустойчивой. Самый широкий спектр углеводов был ферментирован штаммами, принадлежащими к роду *Brenneria*. В изоляте 5 (штамм *Brenneria salicis*) наблюдались пузырьки воздуха, что указывает на их способность расти в анаэробных условиях.

Заключение

По результатам исследования дана морфологическая и биохимическая характеристика штаммов бактерий, выделенных из древесины тополя:

лавролистного – 4 штамма бактерий видов *Bacillus pumilus*, *Lysinibacillus fusiformis*, *Staphylococcus pasteuri*, *Brenneria salicis*;

душистого – 2 штамма бактерий видов *Bacillus safensis*, *Brenneria populi*.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Благова Д.К., Сарварова Е.Р., Хайруллин Р.М. Выделение и характеристика бактериальных эндофитов моркови (*Daucus carota* L. VAR. SATIVUS) // Вестн. ОГУ. 2014. № 13(174). С. 10–12.
2. Лыжин Д.Н. Перспективы развития биоэкономики в условиях глобализации // Проблемы национальной стратегии. 2014. № 2(23). С. 79–94.
3. Максимов И.В., Абизильдина Р.Р., Пусенкова Л.И. Стимулирующие рост растений микроорганизмы как альтернатива химическим средствам защиты от патогенов (обзор) // Прикладная биохимия и микробиология. 2011. Т. 47, № 4. С. 373–385.
4. Шеховцова Н.В., Маракаев О.А., Первушина К.А., Холмогоров С.В., Цапляева К.Г. Образование ауксинов эндофитными бактериями подземных органов *Dactylorhiza maculata* (L.) SOO (ORCHIDACEAE) // Вестн. ОГУ. 2011. № 12(131). С. 366–368.
5. Щербаков А.В., Брагина А.В., Кузьмина Е.Ю., Берг К., Мунтян А.Н., Макарова Н.М., Мальфанова Н.В., Кардинале М., Берг Г., Чеботарь В.К., Тихонович И.А. Эндофитные бактерии сфагновых мхов как перспективные объекты сельскохозяйственной микробиологии // Микробиология. 2013. Т. 82, № 3. С. 312–322.
6. Barac T., Weyens N., Oeyen L., Taghavi S., van der Lelie D., Dubin D., Spliet M., Vangronsveld J. Field Note: Hydraulic Containment of a BTEX Plume Using Poplar Trees // International Journal of Phytoremediation. 2009. Vol. 11, iss. 5. Pp. 416–424.
7. Khan Z., Guelich G., Phan H., Redman R., Doty S. Bacterial and Yeast Endophytes from Poplar and Willow Promote Growth in Crop Plants and Grasses // International Scholarly Research Network. ISRN Agronomy. 2012. Vol. 2012. 11 p. DOI: 10.5402/2012/890280
8. Moore F.P., Barac T., Borremans B., Oeyen L., Vangronsveld J., van der Lelie D., Campbell C.D., Moore E.R.B. Endophytic Bacterial Diversity in Poplar Trees Growing on a BTEX-Contaminated Site: the Characterization of Isolates with Potential to Enhance Phytoremediation // Systematic and Applied Microbiology. 2006. Vol. 29, iss. 7. Pp. 539–556.
9. Posada F., Vega F.E. Establishment of the Fungal Entomopathogen *Beauveria bassiana* (Ascomycota: Hypocreales) as an Endophyte in Cocoa Seedlings (*Theobroma cacao*) // Mycologia. 2005. Vol. 97, iss. 6. Pp. 1195–1200. DOI: 10.3852/mycologia.97.6.1195
10. Strobel G., Daisy B., Castillo U., Harper J. Natural Products from Endophytic Microorganisms // Journal of Natural Products. 2004. Vol. 67, iss. 2. Pp. 257–268. DOI: 10.1021/np030397
11. Taghavi S., Garafola C., Monchy S., Newman L., Hoffman A., Weyens N., Barac T., Vangronsveld J., van der Lelie D. Genome Survey and Characterization of Endophytic Bacteria Exhibiting a Beneficial Effect on Growth and Development of Poplar Trees // Applied and Environmental Microbiology. 2009. Vol. 75, iss. 3. Pp. 748–757.
12. Ulrich K., Ulrich A., Ewald D. Diversity of Endophytic Bacterial Communities in Poplar Grown Under Field Conditions // FEMS Microbiology Ecology. 2008. Vol. 63, iss. 2. Pp. 169–180.
13. van der Lelie D., Taghavi S., Monchy S., Schwender J., Miller L., Ferrieri R., Rogers A., Wu X., Zhu W., Weyens N., Vangronsveld J., Newman L. Poplar and its Bacterial Endophytes: Coexistence and Harmony // Plant Science. 2009. Vol. 28, iss. 5. Pp. 346–358.

Поступила 03.05.18

UDC 579.64:633.878.32

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.161

Bacterial Endophytes of Poplar*A.S. Aksenov*¹, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor*N.A. Kuz'mina*², Research Assistant¹Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: a.s.aksenov@narfu.ru²Institute of Biogeography and Genetic Resources, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, Russian Academy of Sciences, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 23, Arkhangelsk, 163000, Russian Federation

Biotechnologies provide an opportunity to solve global problems of sustainable development of economic activity. The study of biodiversity of plant endophytic bacteria allows creating new effective biologics for adaptive plant growing. The goal of research is to identify endophyte poplar bacteria in the North (Arkhangelsk). Samples were selected at the beginning of October in the crowned trees of laurel-leafed poplar and fragrant poplar, which had no external signs of pathology and stem rot. The studies were based on the characteristics of isolates obtained from the internal parts of the central wood of poplar tree stems after surface sterilization. Sawdust was examined by the fouling method. Meat-peptone agar was used as the nutrient medium. To determine the biochemical activity of pure bacterial cultures, Hiss's differential diagnostic media were used, including maltose, glucose, sucrose, sorbitol, mannitol, and lactose. For bacterial isolates, identification was carried out by sequencing fragments of the 16S rDNA gene and comparing the resulting nucleotide sequences with those homologous from the NCBI's GenBank database. When the sawdust was sowed in the nutrient medium, fouling with bacterial mass was noted. The sawdust of laurel-leafed poplar overgrew more intensively in comparison with fragrant poplar. Four strains of bacteria (*Bacillus pumilus*, *Lysinibacillus fusiformis*, *Staphylococcus pasteurii*, *Brenneria salicis*) were isolated from the laurel-leafed poplar wood, and 2 strains were isolated from fragrant poplar (*Bacillus safensis*, *Brenneria populi*). The article presents the morphological and biochemical characteristics of bacteria. Most bacteria successfully use the carbon components of the Hiss' media, with the exception of sorbitol. The ability to metabolize lactose and mannitol is particularly unstable. The widest range of carbohydrates is fermented by strains belonging to the genus *Brenneria*.

Keywords: bacterial endophyte, laurel-leafed poplar, fragrant poplar, wood.

REFERENCES

1. Blagova D.K., Sarvarova E.R., Khayrullin R.M. Vydelenie i kharakteristika bakterial'nykh endofitov morkovi (*Daucus carota* L. VAR. SATIVUS) [Isolation and Characterization of Bacterial Endophytes from Carrots (*Daucus carota* L. VAR. SATIVUS)]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta* [Vestnik of the Orenburg State University], 2014, no. 13(174), pp. 10–12.
2. Lyzhin D.N. Perspektivy razvitiya bioekonomiki v usloviyakh globalizatsii [Prospects of Bioeconomic Development in the Context of Globalization]. *Problemy natsional'noy strategii* [National Strategy Issues], 2014, no. 2(23), pp. 79–94.

For citation: Aksenov A.S., Kuz'mina N.A. Bacterial Endophytes of Poplar. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2018, no. 4, pp. 161–166. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.161

3. Maksimov I.V., Abizgil'dina R.R., Pusenkova L.I. Stimuliruyushchie rost rasteniy mikroorganizmy kak al'ternativa khimicheskim sredstvam zashchity ot patogenov (obzor) [Plant Growth Promoting Rhizobacteria as Alternative to Chemical Crop Protectors from Pathogens (Review)]. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya* [Applied Biochemistry and Microbiology], 2011, vol. 47, no. 4, pp. 373–385.
4. Shekhovtsova N.V., Marakaev O.A., Pervushina K.A., Kholmogorov S.V., Tsaplyaeva K.G. Obrazovanie auksinov endofitnymi bakteriyami podzemnykh organov *Dactylorhiza maculata* (L.) SOO (ORCHIDACEAE) [Auxine Production by Endophytic Bacteria from Underground Organs of *Dactylorhiza maculata* (L.) SOO (ORCHIDACEAE)]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta* [Vestnik of the Orenburg State University], 2011, no. 12(131), pp. 366–368.
5. Shcherbakov A.V., Bragina A.V., Kuz'mina E.Yu., Berg K., Muntyan A.N., Makarova N.M., Mal'fanova N.V., Kardinale M., Berg G., Chebotar' V.K., Tikhonovich I.A. Endofitnye bakterii sfagnovykh mkhov kak perspektivnye ob'ekty sel'skokhozyaystvennoy mikrobiologii [Endophytic Bacteria of Sphagnum Mosses as Promising Objects of Agricultural Microbiology]. *Mikrobiologiya* [Microbiology], 2013, vol. 82, no. 3, pp. 312–322.
6. Barac T., Weyens N., Oeyen L., Taghavi S., van der Lelie D., Dubin D., Spliet M., Vangronsveld J. Field Note: Hydraulic Containment of a BTEX Plume Using Poplar Trees. *International Journal of Phytoremediation*, 2009, vol. 11, iss. 5, pp. 416–424.
7. Khan Z., Guelich G., Phan H., Redman R., Doty S. Bacterial and Yeast Endophytes from Poplar and Willow Promote Growth in Crop Plants and Grasses. *International Scholarly Research Network. ISRN Agronomy*, 2012, vol. 2012, 11 p. doi: 10.5402/2012/890280
8. Moore F.P., Barac T., Borremans B., Oeyen L., Vangronsveld J., van der Lelie D., Campbell C.D., Moore E.R.B. Endophytic Bacterial Diversity in Poplar Trees Growing on a BTEX-Contaminated Site: the Characterization of Isolates with Potential to Enhance Phytoremediation. *Systematic and Applied Microbiology*, 2006, vol. 29, iss. 7, pp. 539–556.
9. Posada F., Vega F.E. Establishment of the Fungal Entomopathogen *Beauveria bassiana* (Ascomycota: Hypocreales) as an Endophyte in Cocoa Seedlings (*Theobroma cacao*). *Mycologia*, 2005, vol. 97, iss. 6, pp. 1195–1200. doi: 10.3852/mycologia.97.6.1195
10. Strobel G., Daisy B., Castillo U., Harper J. Natural Products from Endophytic Microorganisms. *Journal of Natural Products*, 2004, vol. 67, iss. 2, pp. 257–268. doi: 10.1021/np030397.
11. Taghavi S., Garafola C., Monchy S., Newman L., Hoffman A., Weyens N., Barac T., Vangronsveld J., van der Lelie D. Genome Survey and Characterization of Endophytic Bacteria Exhibiting a Beneficial Effect on Growth and Development of Poplar Trees. *Applied and Environmental Microbiology*, 2009, vol. 75, iss. 3, pp. 748–757.
12. Ulrich K., Ulrich A., Ewald D. Diversity of Endophytic Bacterial Communities in Poplar Grown Under Field Conditions. *FEMS Microbiology Ecology*, 2008, vol. 63, iss. 2, pp. 169–180.
13. van der Lelie D., Taghavi S., Monchy S., Schwender J., Miller L., Ferrieri R., Rogers A., Wu X., Zhu W., Weyens N., Vangronsveld J., Newman L. Poplar and its Bacterial Endophytes: Coexistence and Harmony. *Plant Science*, 2009, vol. 28, iss. 5, pp. 346–358.

Received on May 03, 2018

ПАМЯТИ УЧЕНЫХ

К 90-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ ЛЕСОМ ПРИЗВАННОГО ВЫДАЮЩЕГОСЯ ПИСАТЕЛЯ В.А. ЧИВИЛИХИНА (1928–1984 гг.)

*Писать о лесах – любимое мое занятие,
в некотором смысле даже гражданская обязанность.*
В.А. Чивилихин

Начиная писать эту статью, посвященную человеку, чей труд как писателя был во многом связан с лесом и его тружениками, я невольно подумал, что в последние десятилетия после его преждевременного ухода в мир иной мы оказались в совершенно другой стране. Не потеряло ли значение то, о чем он писал? Что изменилось за это время?

На последний вопрос наши политики убежденно отвечают, что все мы, наконец-то, приобрели свободу. Какую? Об этом отдельно надо бы писать. Можно лишь сказать, что без свободы, конечно, трудно жить, тем более творить. Хотя некоторые лица, в том числе и высокого ранга, напоминают нам, что при капитализме «свобода личности определяется наличностью».

Для писателей и для нас, читающих их труды, главное, что теперь они могут писать обо всем, чтобы не только оповещать нас о том, что творится в мире и душах людей, но и воспитывать, чтобы не дать нам, по крайней мере, опуститься. Главное предназначение всего искусства, и художественной литературы в том числе, в конечном итоге сводится к воспитанию. При этом сами писатели являются «инженерами человеческих душ».

Теперь, когда дана свобода мастерам культуры, надо, казалось бы, только радоваться, что между писателями и читателями нет никаких преград. Но вот тут мы сталкиваемся с новым феноменом. Страна, до недавних пор считавшаяся самой читающей в мире, почти в одночасье (при переходе к капитализму) перестала быть таковой. О всех, конечно, этого не скажешь, но тем не менее после своих дневных трудов, когда людям надо перевести дух и



настроиться на высокое, духовное, многие предпочитают проводить время не с книжкой в руках, а у «телика». А там, как всем известно, нас всех «угощают» в основном «дрыгалками – развлекаловками», да нескончаемой вереницей киносериялов и реклам с навязчивыми мотивами насилия и секса. И никто, даже государственная власть, не может и не пытается остановить этот мутный поток нового вида «просвещения» и «воспитания».

Чиновники, «слуги народа», тоже перестали читать что-либо, кроме циркуляров, проходящих через их руки. Этой власти не до высокого искусства. Для них главное занятие — делать деньги. А для чего? Для того, чтобы снова делать деньги. Но теперь и политологи, наконец, начали изучать нашу «элиту», чтобы лучше знать, куда она ведет страну с непрерывно убывающим населением.

Не забывая этот окружающий нас фон, который, как погоду, нельзя игнорировать, обратимся к нашим лесам и лесным делам. Тут, надо признать, никогда не было спокойно, а теперь тем более. Так как леса, как общенародная собственность, это последнее, что еще не успели «при(х)ватизировать». Но борьба за это ведется не шуточная, в том числе и с помощью упорно навязываемых законодательных мер, чтобы все было «шито-крыто» и чтобы даже «комар носу не подточил». Но не надо забывать, что без писателей, доносящих свой глас не только до народа, но и до самых «верхов», труженики леса никогда не обойдутся. В самые критические времена именно они, «рыцари золотого пера», шли впереди, прокладывая нам путь. И это – не преувеличение. Среди известных писателей, чей труд был посвящен защите леса и благородного труда лесоводов, выделяются славные имена Леонида Максимовича Леонова и Владимира Алексеевича Чивилихина.

Не все может быть помнят, что, например, книга Л.М. Леонова «Русский лес» оказала отрезвляющее влияние не только на общественное мнение, но и на руководителей государства. После этой книги, получившей высшую награду того времени (Ленинскую премию), «демагоги» и в науке, и во власти до конца дней своих отмывались. Были сняты «наветы» с наших классиков, восстановлены погрязшие принципы управления лесами и дан толчок кардинальному изменению государственной лесной политики того времени. В.А. Чивилихин не просто принял эстафету своего старшего товарища, он отвоевывал и расширял позиции для научных основ рационального пользования лесами и ведения лесного хозяйства в них.

Но надо знать человека, чтобы говорить о нем. Родился В.А. Чивилихин 7 марта 1928 г. в г. Мариинске (ныне Кемеровская область). Через год его родители переехали на ст. Тайга (в той же области), где его отец Алексей Иванович работал кондуктором товарных поездов и погиб в 1937 г. На руках у матери Аграфены Тихоновны осталось пятеро детей, бабушка, старшая ее дочь и приемная девочка-сиротка. Жили в постоянной нужде, кормились за счет собственного труда, огорода и даров леса. Владимир Алексеевич, чтобы помочь матери, с 13 лет начал работать помощником слесаря и затем паровозным кочегаром. Уже после войны он окончил Тайгинский техникум паровозного хозяйства, работал техником и бригадиром. На подмосковной ст. Узловая стал мастером и преподавателем специальных дисциплин в железнодорожном училище. Его становление проходило в рабочем коллективе, который был нравственной опорой и основой уважительного отношения к людям труда. Именно здесь он ощутил высокое значение коллективизма и взаимовыручки.

Читать он начал еще до школы и читал запоем всю жизнь. Выдержав конкурс, в 1949 г. поступил на отделение журналистики филологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. После окончания университета в 1954 г. работал заведующим отдела литературы и искусства в «Комсомольской правде», в 1961 г. стал членом Союза писателей СССР.

Печататься В.А. Чивилихин начал рано, с 1946 г. Его книги, очерки, повести были отмечены в 1966 г. премией Ленинского комсомола, государственными премиями РСФСР (1977 г.) и СССР (1982 г.), Владимир Алексеевич, награжден двумя орденами «Знак почета».

Перед написанием этой статьи я еще раз просмотрел прочитанные ранее подаренные им мне книги, главным лейтмотивом которых выступает лес нашей огромной страны вместе с людьми, посвятившими ему свою жизнь. Напомню названия некоторых из них: «О чем шумят русские леса», «Кедроград», «Елки-моталки», «Шумы тайга, шуми», «По городам и весям», «Поющие пески», «Земля в беде», «Любит ли она тебя», «Сибирка», «Серебряные рельсы», «Память» и др. Написанию их предшествовали многочисленные поездки, изучение на месте и леса, и жизни людей, их мыслей и забот. Представьте себе, что в один из отпусков в декабре он поехал не на юг, а в Заполярье, на маленькую ст. Сейда под Воркутой, чтобы побеседовать с охотником, нашедшим воркутинский уголь. Мороз был градусов под пятьдесят, обжигал ветер. И вот там он столкнулся с защитными полосами, высаженными вдоль железнодорожной магистрали для защиты ее от снежных заносов и сильных ветров, влияющих на скорость движения составов. К этим полосам затем он приехал еще раз через несколько лет, чтобы посмотреть, как они чувствуют себя в тундре. Из лесных пород любимым деревом для него был кедр, которому он уделял внимание во многих поездках, особенно на Алтай. Именно там его герои создали целое хозяйство под названием Кедроград. Не все читатели могут знать уникальное значение этого ценнейшего дерева. Его насаждения дают не только прекрасную древесину, но и орех и лекарственные растения, в кедровниках обитает сообщество птиц и животных, питающихся его орехом. Среди них и знаменитый соболь. Неоценимо его водоохранное и почвозащитное значение кедра. Чивилихин воспел кедр во многих своих произведениях. «Никогда не забуду лесного феномена, встреченного много в горах Алтая. Кедр-исполин стоял на огромной базальтовой скале, оплел ее толстенными корнями и добывал, высасывал питательные вещества из-под своего пьедестала». Он лично «...даже на священной горе Фудзияма (в Японии)... посадил семь семигодовалых кедров». В Швеции он целую оду посвятил капитану из Лулео, который привез и посадил орешки кедра, которые в момент смотрин уже представляли собой рощу 200-летних исполинов. Он изучил опыт облесения движущихся Алешковских песков на юге европейской части страны, который осуществляла группа ученых и практиков под руководством ветерана войны и труда, академика В.Н. Виноградова (эта работа была удостоена Государственной премии).

Не обошел Чивилихин своими поездками и описанием проблем степного лесоразведения, в том числе и так называемый сталинский план преобразования природы, являвшийся первым в мире масштабным планом борьбы с засухами, суховеями и эрозией почв: «Не боясь преувеличений, можно сказать, что мир ахнул, восхищенный масштабами и сутью Плана. Впервые в истории человечества, в истории взаимоотношений общества и природы, государство взяло на себя столь благородную и сложную задачу, что само по себе

неотразимо воздействовало на умы, агитировало за социалистическую систему хозяйствования». К сожалению, при переходе к капитализму государство самоустранилось от решения этой проблемы. Мало того, есть опасность, что при нынешнем беспределе страна может потерять и то, что раньше создавалось. Он видел, что «труд степного лесовода поистине героичен. Очень нелегко поднять лес на сухой задернутой земле».

Немало сил он приложил и к защите оз. Байкал, описав эту проблему в повести «Светлое око Сибири». Многочисленные поездки по нашей стране и другим странам привели его к обобщениям с постановкой проблем и определением путей их решения. Например, в повести «Земля в беде»: «Мне кажется, пришла пора задуматься нам об исходных принципах нашего природопользования».

В повести «О чем шумят русские леса» Владимир Алексеевич пишет: «Нелегко приступить к этой большой теме. ...Мысленно беседую с учеными и специалистами лесного дела... писать нелегко, но и молчать нельзя». Именно эта повесть была поводом для нашей первой встречи с ним (осень 1965 г.). В ней он дал отклик на мою первую книгу «Расчет и организация пользования лесом». Во время беседы меня поразила его глубокая заинтересованность знать истинное положение лесных дел в стране, добраться до первопричин. При последующих встречах, как он выражался на «лесных посиделках», в кругу героев его публикаций и наших общих коллег по лесной профессии В.А. Чивилихин был «первой скрипкой» в разговорах о лесах, органически переплетая лесную проблематику с общим положением дел в стране, ее культурой, национальными традициями, защищая историю и память о ней. Все это он сумел мастерски обобщить в последней своей книге «Память», посвященной 1000-летию России.

Напомню, что Владимир Алексеевич был активным участником разработки «Основ лесного законодательства Союза ССР», принятых в 1977 г. И тогда, как и в нынешних дебатах о Лесном кодексе (2006 г.), кипели страсти. Он умело доказывал, что «...лес – это не просто лесная растительность, как считают некоторые недалекие юристы». «Лес – ничем незаменимая, наиболее важная, обширная и сложная саморегулирующаяся экологическая система планеты. Глобальное и даже космическое значение этой системы возрастает с каждым годом». И его взгляд при поддержке сторонников тогда победил, чего не скажешь о нынешнем Лесном кодексе, при применении которого и поддержке «голового» административного ресурса победили «недалекие юристы», представившие в этом документе лес в виде лишь лесной растительности, которую, как редиску, можно вырвать из земли и выбросить, чтобы она не мешалась, а землю пустить в оборот.

Сегодня лесоводам, да и всем труженикам леса, очень не хватает таких богатырей из писательской среды, которые бы не только знали лес и его нужды, но и имели бы авторитет, позволяющий им по административной лестнице добираться до самого верха и там вразумительно доказывать, как должно быть и чего нельзя допускать.

В заключение есть необходимость акцентировать внимание на образе главных героев его произведений и на том, что ими руководило в жизни. Главными героями для него были великие труженики, в своих делах первопроходцы, одухотворенные высокими благородными помыслами бескорыстного служения своей стране, своему народу. В веренице его героев стоят ве-

ликие путешественники-естествоиспытатели Пржевальский, Миклухо-Маклай, ученые Менделеев, Ковалевская, уральские промышленники из династии Демидовых, почвовед-географ Докучаев, русские лесные классики Морозов, Орлов и многие его современники – лесоводы из разных уголков страны, с которыми он не просто общался, а вместе активно действовал, направляя лесные дела в нужное русло. Героем его произведений был и сам лес, а также вся природа, которая без него становится крайне уязвимой. Очень важно, что все, с чем В.А. Чивилихин сталкивался, основывалось на глубоком изучении вопроса на основе обобщения и предвидения будущего. «Мне кажется, пришла пора задуматься об исходных принципах природопользования <...> «Все сложности и противоречия, с которыми сталкивается человек в сфере окружающей среды, неразрывно сцеплены с вопросами социальными, политическими, зависят от них, вызваны ими и не могут быть решены в отрыве от них». В беседе с молодым генетиком и философом, главным редактором одной из шведских газет Бьерном Гильбергом, опубликованной в книге «По городам и весям», он выделяет его слова: «Каждый ученый, если он честен и его заботят людские нужды, придет через свою науку к социальным, политическим проблемам».

На российском телевидении есть передача «Народ хочет знать». Наш народ и хочет, и должен знать своих героев, иначе он не будет иметь будущего. Для лесной общественности надо знать и помнить славные дела писателя Владимира Чивилихина, произведения которого останутся актуальными не только в наше время, но и в будущем, представляя духовную основу для воспитания молодого поколения.

Н.А. Моисеев, акад. РАН, гл. науч. сотр.

Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства
и механизации лесного хозяйства

**To the 90th Anniversary of the Birth of the Leading Writer V.A. Chivilikhin
(1928–1984)**

N.A. Moiseev

All-Russian Research Institute of Silviculture and Mechanization of Forestry
