

ЕКАТЕРИНА АЛЕКСАНДРОВНА ПИНАЕВСКАЯ

младший научный сотрудник лаборатории экологии популяций и сообществ, Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лавёрова РАН (Архангельск, Российская Федерация)
aviatorov8@mail.ru

СЕРГЕЙ НИКОЛАЕВИЧ ТАРХАНОВ

доктор биологических наук, заведующий лабораторией экологии популяций и сообществ, Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лавёрова РАН (Архангельск, Российская Федерация)
tarkse@yandex.ru

АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ ПАХОВ

младший научный сотрудник лаборатории экологии популяций и сообществ, Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лавёрова РАН (Архангельск, Российская Федерация)
aleksander.pakhoff@yandex.ru

**ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РОСТА ФОРМ СОСНЫ
НА ТЕРРИТОРИИ ОХРАННОЙ ЗОНЫ ЗАПОВЕДНИКА «ПИНЕЖСКИЙ»***

Традиционным методом оценки состояния лесов является дендрохронологический анализ. При проведении мониторинга лесных насаждений важными являются исследования на особо охраняемых природных территориях. Проведены исследования по изучению роста форм сосны с разным типом апофиза в кустарничково-сфагновых сосняках Пинежского района Архангельской области. Выделены формы сосны по типу апофиза семенных чешуй шишек: «выпуклый» и «плоский» тип. Проведен учет разных форм сосны в кустарничково-сфагновых сосняках. Установлено, что сосна с выпуклым типом имеет большие средние значения по высоте и диаметру ствола, высоте поднятия живой ветви, протяженности и диаметру кроны, чем форма с плоским. Индивидуальная изменчивость по морфоструктурным показателям разных форм сходна и соответствует низкому – очень высокому уровню. Установлены достоверные различия по морфоструктурным признакам шишек между сосной с выпуклым и плоским типом по длине и массе шишки, длине и высоте апофиза. Среднее значение радиального прироста сосны с плоским типом апофиза семенных чешуй ниже, чем у формы с выпуклым. Сосна с выпуклым типом преобладает по величине радиального прироста на всем временном ряду по сравнению с плоским. У разных форм по типу апофиза установлены близкие значения по показателю чувствительности. Выявлены значительные и высокие корреляционные связи между приростом (в относительных индексах) и среднегодовой температурой, приростом и температурой начала вегетации. В динамике радиального прироста форм сосны с разным типом апофиза прослеживается цикличность, близкая к солнечному циклу.

Ключевые слова: сосна, морфоструктурные показатели, тип апофиза, дендрохронологический анализ, северная тайга, кустарничково-сфагновые сосняки

ВВЕДЕНИЕ

Традиционный метод оценки состояния лесов – дендрохронологический анализ. Прирост деревьев является универсальным и обобщающим признаком состояния древостоя [3].

Сосна (*Pinus sylvestris* L.) на Европейском Севере России произрастает повсеместно. В пределах своего ареала сосна произрастает в различных экологических условиях и различается по морфологическим, эколого-физиологическим признакам и лесоводственным свойствам. Высокая наследственная изменчивость сосны по характеру роста и развития – общебиологическая закономерность [5].

В связи с сокращением площади естественных лесных насаждений возникла необходимость комплексной оценки и сохранения природного генетического разнообразия, что в настоящее время повысило внимание к формовому разнообразию сосны обыкновенной [6]. Ценными являются исследования формовой структуры и роста разных жизненных форм основного лесобразующего вида на особо охраняемых природных территориях. Территория Пинежского заповедника основана для изучения таежных комплексов, но исследования камбиального роста разных форм не проводились.

Цель исследования – изучение роста форм сосны по типу апофиза в сосняках кустарничково-

сфагновых Пинежского района Архангельской области.

Задачи: выявить особенности по морфоструктурным показателям вегетативной и генеративной сфер у форм сосны с разным типом апофиза семенных чешуй шишек; изучить динамику радиального прироста у разных форм сосны в условиях постоянного избыточного увлажнения почв; дать краткую характеристику влияния экологических факторов на рост форм сосны по типу апофиза.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Район исследований расположен на юго-востоке Беломорско-Кулойского плато. Исследования проведены в низкобонитетных (Va), низкополнотных (0,5), разновозрастных (от 50 до 150 лет) и чистых по составу сосняках кустарничково-сфагновых на болотных верховых торфяных почвах охранной зоны заповедника «Пинежский» (северная тайга).

На двух пробных площадях у деревьев в возрасте 130–140 лет определены морфометрические показатели ствола и кроны: высота и диаметр ствола на высоте 1,3 м, высота прикрепления первой живой ветви, абсолютная протяженность и диаметр кроны. Для изучения временной динамики роста были отобраны керны древесины форм сосны с разным типом апофиза семенных чешуй шишек: *f. gibba* – «выпуклый» (40 деревьев) и *f. plana* – «плоский» (40 деревьев) тип апофиза [9]. Форма апофиза является морфологическим маркером и определяется генотипом дерева. Отобраны образцы из 10 шишек урожая прошлого года с каждого дерева и определены длина и масса шишки (в сухом состоянии), длина, ширина, высота апофиза, рассчитан индекс формы апофиза шишек [1] у разных форм сосны. Обработка материала проведена при помощи дендрохронологического анализа с использованием пакета современных компьютерных программ на основе статистических методов [2], [3], [4], [14].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для определения общей структуры северо-таежной популяции сосны и оценки формового разнообразия на особо охраняемой природной территории проведен учет разных форм *Pinus sylvestris* L. в кустарничково-сфагновых сосняках. Установлено, что узкокронная (65 %) форма доминирует по численности над ширококронной (35 %). По типу апофиза семенных чешуй шишек доминирует сосна с выпуклым (75 %) типом над сосной с плоским (25 %). По габитусу кроны обычная сосна (80 %) преобладает над болотной формой (20 %).

Установлено, что сосна с выпуклым типом имеет большие средние значения по высоте (6,0 м) и диаметру (9,2 см) ствола, высоте под-

нятия живой ветви (3,2 м), протяженности (2,8 м) и диаметру (2,8 м) кроны, чем форма с плоским (соответственно 5,7 м, 8,9 см, 3,0 м, 2,7 м, 2,7 м). Однако статистически достоверных различий средних значений при критических значениях *t*-критерия между выборками деревьев разных форм не установлено ($t < t_{0,05}$) (рис. 1). Индивидуальная изменчивость по морфоструктурным показателям разных форм сходна и соответствует низкому – очень высокому уровню ($C.V. = 9–57\%$). Ранее нами было установлено, что сосна с выпуклой формой апофиза семенных чешуй (*f. gibba* Christ) на 11 % превосходит по высоте ствола деревья с плоской (*f. plana* Christ) в притундровых лесах [8].

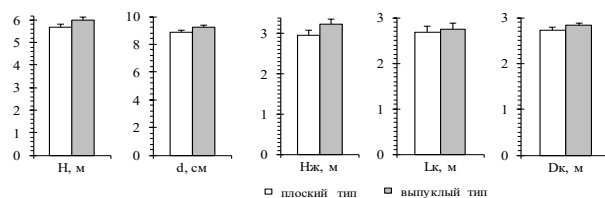


Рис. 1. Морфоструктурные показатели (среднее значение с ошибкой) разных форм сосны. Н – высота дерева, d – диаметр ствола на высоте 1,3 м, Нж – высота до первой живой ветви, Lк – протяженность кроны, Дк – диаметр кроны

Показателем продуктивности и роста является оценка состояния генеративной сферы сосны. Выявлены достоверные различия по морфоструктурным показателям шишек между сосной с выпуклым и плоским типом по длине (выпуклый – 29 мм; плоский – 27 мм; $t = 2,61$; $t_{0,05} = 1,99$) и массе (выпуклый – 1,9 г; плоский – 1,7 г; $t = 2,79$; $t_{0,05} = 1,99$) шишки, длине (выпуклый – 7,0 мм; плоский – 6,6 мм; $t = 2,04$; $t_{0,05} = 1,99$) и высоте (выпуклый – 2,5 мм; плоский – 2,1 мм; $t = 8,40$; $t_{0,001} = 3,42$) апофиза (рис. 2). Отношение высоты апофиза к его ширине (ИФАШ) имеет большие значения у сосны с выпуклым типом по сравнению с плоским ($t > t_{0,05}$).

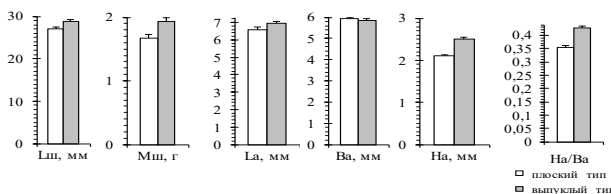


Рис. 2. Морфоструктурные показатели шишек (среднее арифметическое значение с ошибкой) разных форм сосны. Lш, Мш – длина и масса шишки соответственно; La, Ba, Ha – длина, ширина и высота апофиза соответственно; Ha/Ba – индекс формы апофиза шишки (ИФАШ)

Среднее значение радиального прироста сосны с плоским типом апофиза семенных чешуй ниже, чем у формы с выпуклым типом ($t > t_{0,05}$) (таблица). Изменчивость радиального прироста

(в пределах кольцевой хронологии индивидуального дерева) сосны характеризуется повышенным и высоким уровнем. В древесно-кольцевом анализе принято для устранения влияния возрастного фактора проводить расчет индекса прироста, который показывает реак-

цию деревьев на условия внешней среды. Установлены одинаковые значения относительных значений радиального прироста у выделенных форм, что указывает на их сходную отзывчивость на климатические и другие экологические факторы.

Изменчивость радиального прироста разных форм сосны

Тип апофиза	Абсолютная величина радиального прироста, мм			Индекс радиального прироста (I), %		
	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	min–max	$C.V.$, %	\bar{x}	min–max	$C.V.$, %
Выпуклый	$0,43 \pm 0,02$	0,25–0,93	26	101	86–146	8
Плоский	$0,30 \pm 0,02$	0,14–0,56	33	101	71–167	10

Примечание. \bar{x} – среднее арифметическое значение; $s_{\bar{x}}$ – ошибка среднего арифметического; min–max – диапазон варьирования признака; $C.V.$ – коэффициент вариации.

Для двух выделенных форм по типу апофиза характерна типичная кривая «большого роста», когда величина радиального прироста уменьшается с возрастом (рис. 3). Сосна с выпуклым типом преобладает над формой с плоским типом на всем временном ряду. Наблюдается синхронность в динамике радиального прироста у форм с раз-

ным типом апофиза. Максимальные значения прироста для обеих форм отмечаются в молодом возрасте (до 20–30 лет). В возрасте 30–40 лет фиксируется период с нерезкими колебаниями величины радиального прироста. В возрасте 60–80 лет у форм с выпуклым и плоским типом наблюдается снижение величины радиального прироста.

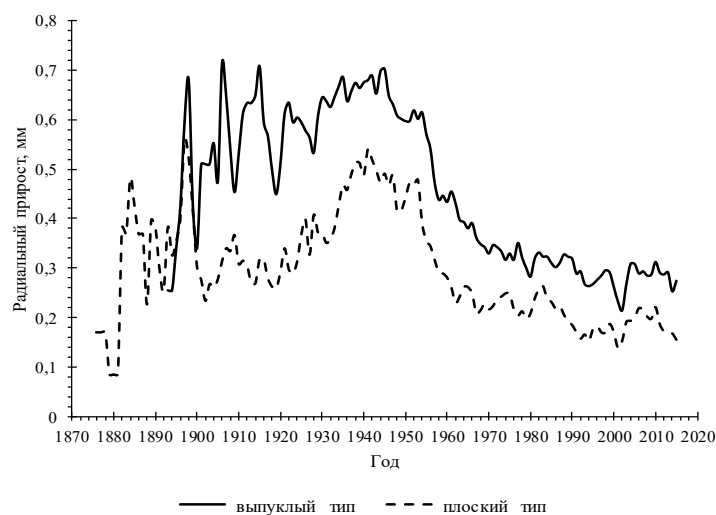


Рис. 3. Древесно-кольцевые кривые радиального прироста разных форм сосны

В последние десятилетия широко исследуется влияние экологических условий, антропогенных и других факторов на рост деревьев [11], [12], [13], [15]. Хотя изучению влияния климатических условий на радиальный прирост сосны в северной тайге был посвящен целый ряд работ, но исследования по влиянию экологических факторов на рост и выявлению связей между приростом и климатическими показателями разных форм не проводились. Ранее исследовались влияния климатических параметров на формирование радиального прироста сосны крайне северотаежных лесов. Установлено положительное влияние летних температур на рост сосны в условиях постоянного избыточного увлажнения почв [7].

У форм сосны с разным типом апофиза в сосняках кустарничково-сфагновых на территории охранной зоны заповедника «Пинежский» рассчитан показатель чувствительности (величина изменчивости прироста от климатических условий) и установлены близкие значения по этому показателю ($K_s = 19–22\%$). Это указывает на сходство в реакциях выделенных форм сосны на условия внешней среды. Выявлены значительные и высокие корреляционные связи между приростом (в относительных индексах) и среднегодовой температурой, приростом и температурой начала вегетации у сосны с выпуклым ($r = 0,56–0,64$) и плоским ($r = 0,80–0,86$, $t_r > t_{0,05}$) типом апофиза. У сосны с выпуклым

типом апофиза по максимальным значениям кривых «нормы прироста» (5-летнее сглаживание) установлены циклы 6,3 лет, минимальным – 5,8 лет. У формы с плоским типом по максимальным значениям прироста цикл составил 13,6 года, а по минимальным – 12,6 года (рис. 4). Это указывает, что колебания радиального прироста форм

сосны с разным типом апофиза близки к солнечному циклу. При визуальном анализе графиков прироста (в относительных индексах) разных форм сосны и чисел Вольфа выявлены совпадения в колебаниях (последние 30 лет), что указывает на более четкую зависимость между приростом и фазами солнечной активности (рис. 4).

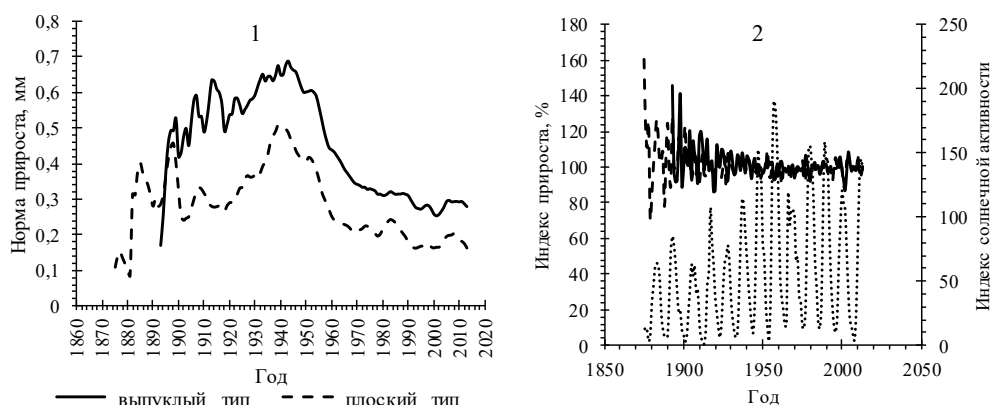


Рис. 4. Цикличность в динамике радиального роста (1) и связь относительных значений прироста с числами Вольфа (2) у разных форм сосны

Солнечная активность оказывает влияние на формирование прироста деревьев, но это воздействие нестабильно и может быть связано с действием комплекса астрофизических факторов [10].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На территории Пинежского заповедника как уникального резервуара биологического разнообразия исследовано состояние сосняков в условиях длительного избыточного увлажнения почв. Определена частота встречаемости некоторых альтернативных форм, и установлено, что в севе-

ротажных сосняках кустарничково-сфагновых преобладает узкокронная форма, *f. gibba* и «обычная» сосна. Выявлено, что сосна с выпуклым типом превосходит в росте форму с плоским по морфометрическим показателям ствола, кроны (на 3–6 %) и шишки (на 5–19 %). Сосна с выпуклым типом апофиза семенных чешуй превосходит форму с плоским по величине радиального прироста в 1,4 раза. Доминирование сосны с выпуклым типом наблюдается на всем временном ряду роста по диаметру ствола. Определено сходство в реакциях разных наследственных форм сосны на состояние окружающей среды.

* Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦКИА РАН (проект № 0409-2015-0141).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Видякин А. И. Изменчивость формы апофизов шишек в популяциях сосны обыкновенной на востоке европейской части России // Экология. 1995. № 5. С. 356–362.
2. Ловелиус Н. В. Изменчивость прироста деревьев. Дендроиндикация природных процессов и антропогенных явлений. Л.: Наука, 1979. 231 с.
3. Матвеев С. М. Дендроиндикация динамики состояния сосновых насаждений Центральной лесостепи. Воронеж: ВГУ, 2003. 269 с.
4. Матвеев С. М., Румянцев Д. Е. Дендрохронология. Воронеж: ВГЛТА, 2013. 139 с.
5. Молотков П. И., Патлай И. Н., Давыдова Н. И., Щепотьев Ф. Л., Ирошников А. И., Мосин В. И. и др. Селекция лесных пород. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 224 с.
6. Пименов А. В. Биоразнообразие сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в контрастных экотопах юга Сибири. Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Томск, 2016. 41 с.
7. Пинаевская Е. А. Влияние климатических параметров на формирование радиального прироста сосны на северной границе ареала Европейского Севера России // Вестник КрасГАУ. 2018. № 2. С. 208–214.
8. Пинаевская Е. А., Тарханов С. Н. Закономерности роста форм сосны (*Pinus sylvestris* L.) с разной формой апофиза семенных чешуй на северной границе ареала Европейской части России // Известия Самарского научного центра РАН. 2016. Т. 18. № 2 (2). С. 483–487.
9. Правдин Л. Ф. Сосна обыкновенная. Изменчивость, внутривидовая систематика и селекция. М.: Наука, 1964. 172 с.
10. Румянцев Д. Е., Черакшев А. В. Анализ динамики радиального прироста в 445-летней древесно-кольцевой хронологии сосны из Прибайкальского национального парка // Лесохозяйственная информация. 2018. № 1. С. 41–49.

11. Соломина О. Н., Бушуева И. С., Долгова Е. А., Золотокрылин А. Н., Кузнецова В. В., Кузнецова Т. О. и др. Засухи Восточно-Европейской равнины по гидрометеорологическим и дендрохронологическим данным. М.; СПб.: Нестор-История, 2017. 360 с.
12. Щекалев Р. В., Тарханов С. Н. Радиальный прирост сосны обыкновенной при аэротехногенном загрязнении в бассейне Северной Двины // Лесоведение. 2007. № 2. С. 45–50.
13. Briffa K. R. Annual climate variability in the Holocene: interpreting the message of ancient trees // *Quaternary Science Reviews*. 2000. Vol. 19. P. 87–105.
14. Cook E. R. A time series analysis approach to tree-ring standardization. Tucson: University of Arizona, 1985. 171 p.
15. Schweingruber F. H. Tree Rings and environment. Dendrochronology. Berne; Stuttgart; Vienna: Paul Haupt; Birmensdorf, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research, 1996. 609 p.

Pinaevskaya E. A., N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research
(Arkhangelsk, Russian Federation)

Tarkhanov S. N., N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research
(Arkhangelsk, Russian Federation)

Pakhov A. S., N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research
(Arkhangelsk, Russian Federation)

DENDROCHRONOLOGICAL RESEARCH OF PINE GROWTH FORMS IN THE TERRITORY OF THE PINEZHSKIY RESERVE SECURITY ZONE*

Dendrochronological analysis is a traditional method of assessing the state of forests. When monitoring forest plantations, studies in specially protected natural areas are important. Studies have been carried out to examine the growth of pine forms with different types of apophysis in the shrub and sphagnum pine forests of the Pinezhskiy district of the Arkhangelsk Region. Pine forms with different types of cone seed scales apophysis were distinguished: a “convex” type and a “flat” type. Various forms of pine were recorded in the shrub and sphagnum pine forests. It was established that a convex type pine has larger average values for the height and diameter of the trunk, the height of the living branch rising, and the length and diameter of the crown than a flat form. Significant differences in the morphostructural features of cones – specifically, in the length and weight of the cone, as well as the length and height of apophysis – were found between convex and flat type pines. The average radial growth value of a pine with a flat type of seed scales apophysis is lower than that of a convex type. A convex type pine predominates in terms of radial growth over the entire time series as compared to a flat type. Significant and high correlation links between radial growth (in relative indices) and average annual temperature, growth and the temperature of the beginning of vegetation were revealed.

Key words: pine, morphostructural indices, apophysis type, dendrochronological analysis, northern taiga, shrub and sphagnum pine forests

* This work was carried out under state assignment to the Federal Center for Integrated Arctic Research (project No 0409-2015-0141).

REFERENCES

1. Vidyakin A. I. Variation in the cone apophysis form in the populations of Scots pine in the eastern European part of Russia. *Russian Journal of Ecology*. 1995. No 5. P. 356–362. (In Russ.)
2. Lovelius N. V. Variability of tree growth. Dendroindication of natural processes and anthropogenic phenomena. Leningrad, 1979. 231 p. (In Russ.)
3. Matveev S. M. Dendroindication of the pine forests dynamics in the central forest-steppe. Voronezh, 2003. 269 p. (In Russ.)
4. Matveev S. M., Rumyantsev D. E. Dendrochronology. Voronezh, 2013. 139 p. (In Russ.)
5. Molotkov P. I., Patlay I. N., Davydova N. I., Shchepot'ev F. L., Iroshnikov A. I., Mosin V. I. et al. Selection of forest species. Moscow, 1982. 224 p. (In Russ.)
6. Pimenov A. V. Biodiversity of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in contrasting ecotopes of southern Siberia: author's abstract of doctoral dissertation (Biology). Tomsk, 2016. 41 p. (In Russ.)
7. Pinaevskaya E. A. The influence of climatic parameters on the formation of radial growth of the pine on the northern border of the area of the European North of Russia. *Vestnik KrasGAU*. 2018. No 2. P. 208–214. (In Russ.)
8. Pinaevskaya E. A., Tarkhanov S. N. Growth regularities of *Pinus sylvestris* L. with different forms of seed scales apophysis on the areal northern border of European Russia. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*. 2016. Vol. 18. No 2 (2). P. 483–487. (In Russ.)
9. Pravdin L. F. Scots pine. Variability, intraspecies taxonomy and selection. Moscow, 1964. 172 p. (In Russ.)
10. Rumyantsev D. E., Cherakshev A. V. Tree-ring analysis of 445-year chronology of Scots pine from Baikal National Park. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya*. 2018. No 1. P. 41–49. (In Russ.)
11. Solomina O. N., Bushueva I. S., Dolгова Е. А., Золотокрылин А. Н., Кузнецова В. В., Кузнецова Т. О. et al. Droughts of the East European Plain according to hydrometeorological and tree-ring data. Moscow, St. Petersburg, 2017. 360 p. (In Russ.)
12. Shchekalev R. V., Tarkhanov S. N. Radial increment of *Pinus sylvestris* under aerotechnogenic pollution in the Northern Dvina River basin. *Lesovedenie*. 2007. No 2. P. 45–50. (In Russ.)
13. Briffa K. R. Annual climate variability in the Holocene: interpreting the message of ancient trees. *Quaternary Science Reviews*. 2000. Vol. 19. P. 87–105.
14. Cook E. R. A time series analysis approach to tree-ring standardization. Tucson, University of Arizona, 1985. 171 p.
15. Schweingruber F. H. Tree Rings and environment. Dendrochronology. Berne, Stuttgart, Vienna, Paul Haupt, Birmensdorf, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research, 1996. 609 p.

Поступила в редакцию 22.06.2018