

ЭНДОГЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РОСТА И НАДЗЕМНОЙ ФИТОМАССЫ СОСНЫ КЕДРОВОЙ КОРЕЙСКОЙ В ИСКУССТВЕННЫХ НАСАЖДЕНИЯХ ПРИГОРОДНОЙ ЗОНЫ КРАСНОЯРСКА

Н. П. Братилова, В. Н. Калагин, А. В. Мантулина,
Р. В. Калашников, Н. В. Моксина, Н. О. Мотырев

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», 31
E-mail: nbratilova@yandex.ru

Представлены результаты исследования эндогенной изменчивости показателей роста и сформированной надземной фитомассы 57-летнего модельного дерева сосны кедровой корейской (Pinus koraiensis Siebold et Zucc.) приморского климатипа, выращенной на участке плантационных культур «Метеостанция» пригородной зоны Красноярск. Выявлен высокий уровень эндогенной изменчивости по приростам в высоту, числу сформированных боковых побегов в мутовках. Отмечен очень высокий уровень эндогенной изменчивости линейных размеров и фитомассы ветвей, массы секций ствола, распиленных на расстоянии, равном длине приростов ствола по годам.

Полученные результаты исследований по росту, формированию кроны и накоплению надземной фитомассы представляют научный и практический интерес при использовании сосны кедровой корейской в ландшафтном строительстве и создании плантационных кедровых культур с целью повышения их экологической эффективности.

Ключевые слова: интродукция, сосна кедровая корейская, изменчивость, фитомасса, прирост, плантация.

Conifers of the boreal area. 2023, Vol. XLI, No. 6, P. 459–465

ENDOGENOUS VARIABILITY OF GROWTH INDICATORS AND ABOVE GROUND PHYTOMASS OF PINUS KORAIENSIS ON THE ARTIFICIAL PLANTINGS OF THE SUBURBAN ZONE OF KRASNOYARSK

N. P. Bratilova, V. N. Kalagin, A. V. Mantulina,
R. V. Kalashnikov, N. V. Moksina, N. O. Motyrev

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
E-mail: nbratilova@yandex.ru

The results of a study of the endogenous variability of growth indicators and the formed above-ground phytomass of a 57-year-old model Korean pine tree (Pinus koraiensis Siebold et Zucc.) of the coastal climate type, grown on the “Meteostantsiya” plantation crop site in the suburban area of Krasnoyarsk, are presented. A high level of endogenous variability in height growth and the number of formed lateral shoots in whorls was revealed. A very high level of endogenous variability was noted in the linear dimensions and phytomass of branches, the mass of trunk sections sawn at a distance equal to the length of the trunk increments over the years.

The obtained research results on growth, crown formation and accumulation of above-ground phytomass are of scientific and practical interest when using Korean pine in landscape construction and creating plantation cedar crops in order to increase their environmental efficiency.

Keywords: introduction, pinus koraiensis, phytomass, variability, growth, plantation.

ВВЕДЕНИЕ

Исследования по накоплению надземной фитомассы хвойных древесных растений представляют большой научный интерес из-за весомого вклада в угле-

родный пул [13; 14; 16; 17], а данные распределения фитомассы по вертикальному профилю, особенностей формирования ствола и кроны [5; 6; 7; 9; 10; 14] становятся все более актуальными в связи с возрастаю-

щей ролью хвойных растений в озеленении населенных пунктов [1; 2; 7; 12]. Так, А. Б. Романова и др. [12] отмечали, что статус хвойных растений в системе городского озеленения (на примере Красноярска) необходимо пересматривать вследствие высокой фитонцидности, длительности вегетации, архитектоники и пластики их крон. Для понимания процессов роста и биопродуктивности хвойных древесных растений при озеленении населенных пунктов можно брать за основу аналогичные данные, полученные при исследованиях искусственных, а не естественных насаждений. Так, например, В. А. Усольцев подчеркивал значительные различия по вертикально-фракционному распределению надземной фитомассы в естественных насаждениях и искусственных посадках на примере сосны обыкновенной, отмечая, что фитомасса нижней части кроны деревьев, произрастающих в лесных культурах, выше, чем в естественных сосновых одновозрастных насаждениях в 4–9 раз [15].

Большой интерес для расширения ассортимента озеленительных посадок представляют интродуцированные растения [3; 11].

Ранее было выявлено, что сосна кедровая корейская (*Pinus koraiensis* Siebold et Zucc.) в искусственных насаждениях юга Средней Сибири растет медленнее местного вида – сосны кедровой сибирской [14], а ее побеги первого порядка имеют больший угол наклона по отношению к центральному побегу, при этом ветви нижних мутовок во втором классе возраста расположены практически параллельно поверхности земли [4].

В. А. Усольцев и др. [16] на основе сформированной базы данных фитомассы кедровых сосен выявили, что по общему значению формируемой фитомассы различия между двумя видами кедровых сосен – сибирской и корейской – можно принять как статистически недостоверные, однако отмечаются существенные различия по ее структуре и соотношению фракций.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Создание искусственных насаждений кедровых сосен проводилось сотрудниками кафедры селекции и озеленения СибГУ им. М. Ф. Решетнева с 1958 года. Платационные культуры «Метеостанция» (рис. 1) были созданы семенным потомством кедровых сосен (сибирской и корейской) разного географического происхождения по схеме 5×5 м в 1980 г. на территории Караульного лесничества Учебно-опытного лесхоза СибГУ им. М. Ф. Решетнева [8].

В качестве объекта исследования было изучено модельное дерево 7-15-1 сосны кедровой корейской приморского климатического типа 57-летнего биологического возраста, которое было спилено энергетиками в июне 2022 г.

Изученный экземпляр сосны кедровой корейской был выращен из семян 1965 года сбора, собранных в материнском насаждении Тудо-Вакского лесничества Вакского лесхоза Приморского края. Насаждение произрастало на высоте над уровнем моря 250 м, в географических координатах 46°54' с.ш. и 134°12' в.д.

Состав насаждения 3К1Е1ПЗБ1Лп1Я, тип леса – кедровник широколиственный [8].



Рис. 1. Участок платационных культур «Метеостанция»

Возраст культур на момент исследований составил 42 года.

У срубленного дерева (рис. 2) была определена длина ствола, диаметры ствола на высоте 0,1 м, 1,3 м и у каждой мутовки, диаметр кроны, протяженность годовых приростов ствола, длины ветвей в мутовках, протяженность кроны и бессучковой зоны, длина хвои по годам формирования. Подсчитывали продолжительность жизни хвои, число мутовок деревьев, число живых и сухих ветвей в мутовках.

Впоследствии по фактическим измеренным данным была создана модель ствола изученного экземпляра, по которой можно вычислить различные показатели роста (диаметры или радиусы ствола на любой высоте, объемы секций ствола и др.).

Объемы секций стволов отдельно по каждой мутовке рассчитывали по формуле усеченного конуса.

В лабораторных условиях модельные ветви были разделены на годовые приросты по фракциям (хвоя и побеги), произведены замеры длины приростов боковых побегов по годам формирования.

Высушивание образцов производилось при температуре 100 °С в сушильном шкафу ШС-80-01 СПУ.

Фитомассу фракций определяли в абсолютно сухом состоянии на лабораторных весах ГОСМЕТР ВЛТЭ-1100.

Определения фитомассы всего дерева проводилось по методике В. А. Усольцева и др. [14].



Рис. 2. Полевые исследования модельного дерева 7-15-1

Определение массы боковых ветвей:

$$M_{\text{в}} = m_{\text{в1}} \cdot n_1 + \dots + m_{\text{вк}} \cdot n_k, \quad (1)$$

где $M_{\text{в}}$ – масса боковых ветвей, г; $m_{\text{в1}}$ – масса средней пробной ветви на однолетней мутовке, г; n_1 – число боковых ветвей на однолетней мутовке, шт.; $m_{\text{вк}}$ – масса средней боковой ветви на самой нижней мутовке, г; n_k – число боковых ветвей на самой нижней мутовке, шт.

Определение массы ствола

$$M_{\text{ств}} = m_{\text{ств1}} + \dots + m_{\text{ствк}} + m_{\text{ост}}, \quad (2)$$

где $M_{\text{ств}}$ – масса ствола, кг; $m_{\text{ств1}}$ – масса ствола, соответствующая однолетней мутовке, кг; $m_{\text{ствк}}$ – масса ствола, соответствующая самой нижней мутовке, кг; $m_{\text{ост}}$ – масса остатка (ствола от корневой шейки до нижней мутовки), кг.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Модельное дерево сосны кедровой корейской 7-15-1 имело длину ствола 10,9 м. Протяженность бессучковой зоны составила 1,8 м. Диаметр ствола на высоте 1,3 м равнялся 20,9 см. Суммарное количество ветвей в кроне дерева составило 143 шт., при среднем числе ветвей в мутовке $3,9 \pm 0,26$ шт. Коэффициент эндогенной изменчивости данного признака равен 39,9 %. Средний диаметр ветвей у основания составил $1,8 \pm 0,15$ см при коэффициенте варьирования 48,4 %. Средняя длина ветвей равнялась $2,2 \pm 0,21$ м при очень большом уровне изменчивости признака ($V = 56,4$ %).

Средний прирост ствола в высоту составил 19,3 см. Модельное дерево было пересажено на постоянное место в биологическом возрасте 16 лет. После пересадки приросты в высоту замедлились и составляли в течение трех лет 13,4–16,0 см в год. К 1984 году прирост в высоту восстановился до 23,2 см. Средний прирост ствола в высоту с момента пересадки на постоянное место равнялся $22,7 \pm 1,09$ см. К 57-летнему биологи-

ческому возрасту при выращивании по схеме посадки 5×5 м модельное дерево сосны кедровой корейской приморского климатипа имело 136 живых ветвей при средней длине $2,2 \pm 0,21$ м, среднем диаметре в месте прикрепления к стволу $1,9 \pm 0,14$ см. Число ветвей в мутовках изменялось от 1 до 7 шт., в среднем составляя $3,9 \pm 0,26$ шт. Отмечается очень высокий уровень изменчивости по длине ветви, высокий – по другим изученным показателям (табл. 1).

У модельного дерева 7-15-1 сосны кедровой корейской изучена эндогенная изменчивость размеров и массы ветвей. Так, крона дерева была условно разделена на верхнюю, среднюю и нижнюю части. Выявлено, что длина ветвей в верхней части в среднем составляет 1,1 м, при среднем диаметре в месте прикрепления к стволу 1,28 см. Средняя масса древесины ветви из верхней части кроны равняется 0,21 кг, всей мутовки – в среднем 1,0 кг в абсолютно сухом состоянии. Соотношение данных показателей в сравнении со средней и нижней частями кроны равно по длине ветви 1:2,4:2,7, диаметру ветви – 1:1,7:1,8, массе средней ветви – 1:7,6:10,9, массе древесины мутовки – 1:5,3:6,7 (рис. 3). Общая масса древесины ветвей кроны (без учета охвоенности) составила 148 кг в абсолютно сухом состоянии.

При разделении ствола на три условные части: верхнюю (с 1 по 14 мутовку сверху вниз), среднюю (с 15 по 29 мутовку) и нижнюю (с 30 по 44) выявлено, что в верхней части ствола средний прирост в высоту был равен $27,6 \pm 0,148$ см, в средней – $22,2 \pm 0,201$, в нижней части – $18,1 \pm 0,127$ см. Различия по данному показателю достоверны ($t_{\text{ф}}$ больше t_{05}) (табл. 2).

Для расчета фитомассы стволовой древесины пня и общей массы ствола было подобрано уравнение, где в качестве независимой переменной принимался объем секции ствола:

$$Y = 47,994114X / (108866,29 + X), \quad R^2 = 0,935, \quad (3)$$

где Y – масса секции ствола, кг в а.с.с.; X – объем секции ствола, см^3 .

Общая масса ствола равняется 68,1 кг в абсолютно сухом состоянии. Фитомасса секций ствола, распиленных на расстоянии, равном длине приростов ствола по годам, приведена на рис. 3. Масса приростов ствола (с 1980 по 2021 гг.) варьировала от 0,012 до 3,90 кг в абсолютно сухом состоянии (рис. 3).

Коэффициент варьирования, равный 84,6 %, свидетельствует об очень высоком уровне эндогенной изменчивости фитомассы секций ствола.

Средний прирост фитомассы ствола, соответствующий верхней части (14 мутовок сверху) составляет 0,30 кг в а.с.с., в средней части кроны – 1,17 кг, в нижней – 2,01 кг.

Таблица 1
Показатели модельного дерева сосны кедровой корейской 7-15-1

Показатель	$X_{\text{ср}}$	$\pm S$	$\pm m$	$P, \%$	$V, \%$	Уровень изменчивости
Прирост ствола в высоту, см (с момента пересадки на постоянное место)	22,7	7,09	1,09	4,8	31,3	высокий
Длина ветви, см	219,8	123,88	20,94	9,5	56,4	очень высокий
Диаметр у основания ветви, см	1,9	0,85	0,14	7,6	45,2	очень высокий
Число ветвей в мутовке, шт.	3,9	1,55	0,26	6,7	39,9	высокий

Таблица 2
Длина среднего прироста в высоту, см

Показатель / часть	$X_{\text{ср}}$	$\pm S$	$\pm m$	$P, \%$	$V, \%$	t_{ϕ} при $t_{05} = 2,05$
Верхняя	27,6	5,52	1,48	5,3	20,0	–
Средняя	22,2	7,51	2,01	9,0	33,8	2,16
Нижняя	18,1	4,75	1,27	7,0	26,2	4,87

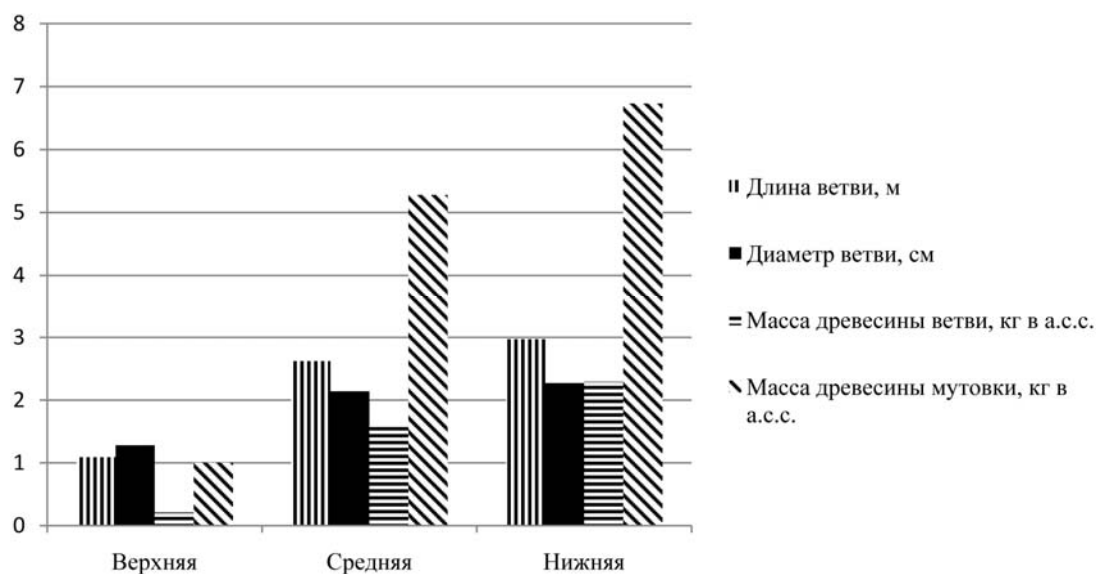


Рис. 3. Показатели кроны по вертикальному профилю модельного дерева

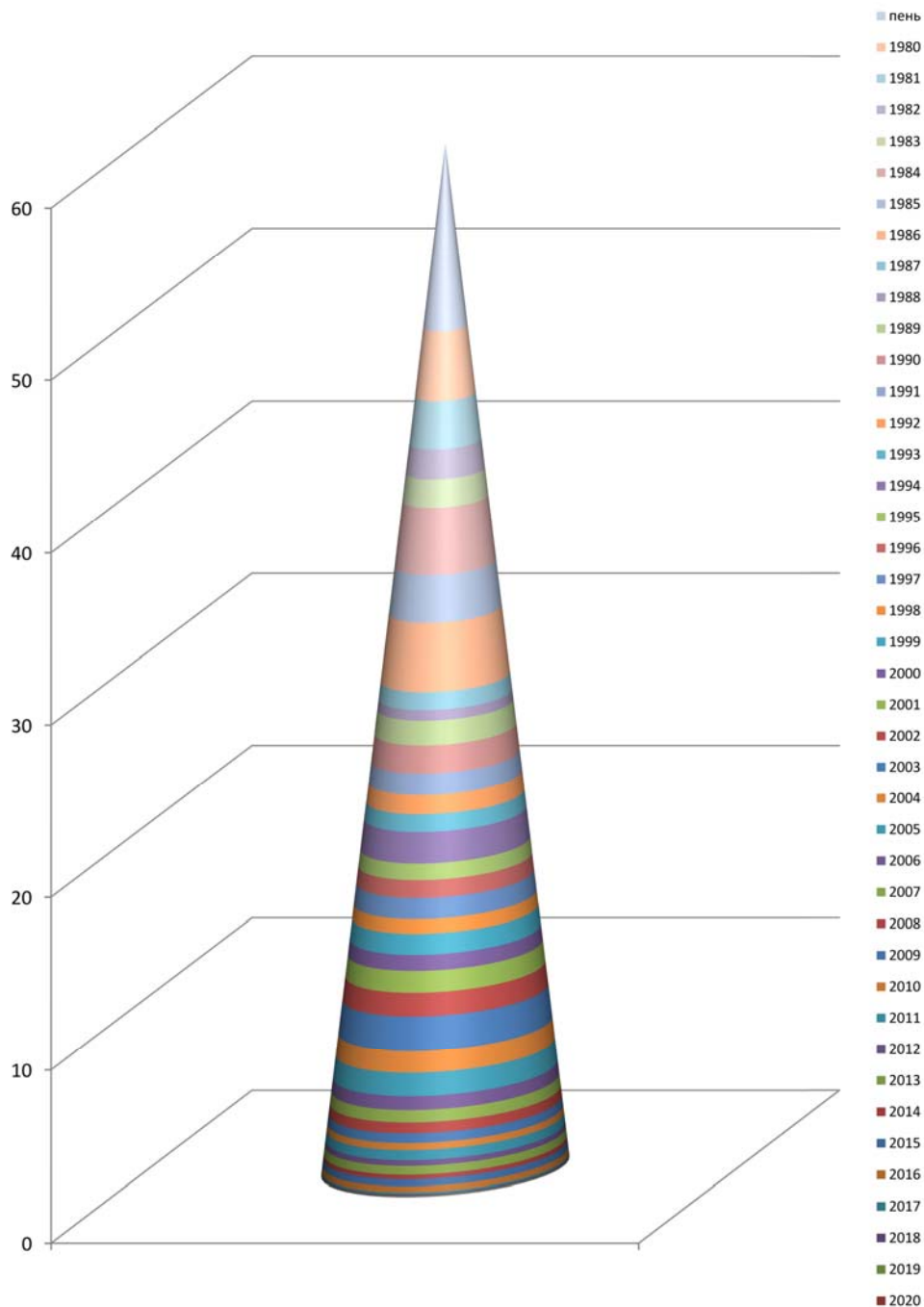


Рис. 3. Масса приростов ствола модельного дерева 7-15-1, кг в а.с.с.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований установлено проявление высокого уровня эндогенной изменчивости 57-летнего модельного дерева сосны кедровой корейской, росшего в разреженных условиях плантационных культур, по таким показателям, как прирост в высоту, число ветвей в мутовке. Очень высокий уровень эндогенной изменчивости отмечен по длине и диаметру у основания сформированных ветвей, их массе, а также массе секций ствола, распиленных на расстоянии, равном длине приростов ствола по годам.

Знание особенностей роста, формирования стволовой древесины и кроны даст возможность использовать сосну кедровую корейскую для введения в озе-

ленительные посадки населенных пунктов и плантационные культуры с целью повышения их средообразующей роли.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Авдеева Е. В., Черникова К. В., Панов А. И. Экологическая эффективность функционирования городских объектов озеленения // Хвойные бореальной зоны. 2018. Т. XXXVI, № 4. С. 292–300.
2. Аксянова Т. Ю., Ступакова О. М., Усова Е. А., Филина М. В., Горошко А. А. Использование хвойных растений в типовых ландшафтных проектах // Хвойные бореальной зоны. 2021. Т. XXXIX, № 4. С. 245–252.
3. Бабич Н. А., Карбасникова Е. Б., Андропова М. М., Залывская О. С., Александрова Ю. В., Гаевский Н. П.

Ступенчатая интродукция видов дендрофлоры в северо-восточную часть Русской равнины (обзор) // Изв. вузов. Лесн. журн. 2021. № 3. С. 73–85.

4. Интродукция сосны кедровой корейской на юге средней Сибири // Н. П. Браилова [и др.] // Хвойные бореальной зоны, 2019. Т. XXXVII, № 3-4. С. 209–213.

5. Браилова, Н. П., Калагин В. Н., Гришлова М. В., Коновалова Д. А., Лапшова М. С. Эндогенная изменчивость показателей сосны кедровой корейской на плантации // Хвойные бореальной зоны. 2020. Т. XXXVIII, № 1-2. С. 7–11.

6. Мантулина А. В., Калагин В. Н., Браилова Н. П. Эндогенная изменчивость роста и формирования фитомассы кроны кедра сибирского // Мониторинг лесных и лесомелиоративных систем, инновационные технологии лесоразведения : материалы Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения проф., заслуженного лесовода РСФСР И. В. Трещевского. Воронеж, 2023. С. 84–90.

7. Мартынюк А. А. Строение фитомассы крон и ее вертикально-фракционное распределение в древостоях сосны, подверженных аэротехногенному загрязнению // Вестник Московского государственного университета леса – лесной вестник. 2008. № 1. С. 121–126.

8. Матвеева Р. Н., Буторова О. Ф. Коллекция кедровых сосен разного географического происхождения на опытных участках СибГТУ : справочно-учебное пособие. Красноярск : СибГТУ, 2007. 68 с.

9. Матвеева Р. Н., Мартынов В. С. Эндогенная изменчивость показателей сосны кедровой сибирской // Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений : матер. XVIII Междунар. науч. конф. Красноярск : СибГТУ, 2015. С. 46–49.

10. Матвеева Р. Н., Буторова О. Ф., Шенмайер Н. А. Эндогенная изменчивость показателей кроны 48-летней сосны кедровой сибирской // Лесной и химический комплексы – проблемы и решения : матер. Всерос. науч.-практ. конф. Красноярск: СибГУ им. М. Ф. Решетнева, 2021. С. 75–77.

11. Мерзленко М. Д., Коженкова А. А., Мельник П. Г. Рост хвойных интродуцентов в Западном Подмоскowie // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2017. № 5 (151). С. 86–90.

12. Романова А. Б., Браилова Н. П., Корниенко И. А. Проблемы системы озеленения урбанизированной территории на примере исторического центра города Красноярска // Хвойные бореальной зоны, 2021. Т. XXXIX, № 6. С. 462–468.

13. Суховольский В. Г., Иванова Ю. Д., Ковалев А. В. Рост насаждений кедровой сосны *Pinus sibirica* Du Roi разных бонитетов: оценка влияния регулирующих факторов // Хвойные бореальной зоны, 2022. Т. XL, № 5. С. 388–394.

14. Усольцев В. А., Щерба Н. П. Структура фитомассы кедровых сосен в плантационных культурах. Красноярск : СибГТУ, 1998. 134 с.

15. Усольцев В. А. Вертикальная структура фитомассы деревьев. Исследование закономерностей: методы, база данных и ее приложения. Екатеринбург, 2013. 602 с.

16. Усольцев В. А., Хабибуллина Н. В., Терехов Г. Г. Структура и география распределения фитомассы

кедровых сосен в Азии // ИВУЗ. Лесной журнал. 2013. № 5 (335). С. 32–38.

17. Уткин А. И. Вертикально-фракционная структура фитомассы лесов как общая платформа разных научных исследований // Вертикально-фракционное распределение фитомассы. Москва : Наука, 1986. С. 6–10.

REFERENCES

1. Avdeeva E. V., Chernikova K. V., Panov A. I. Ekologicheskaya effektivnost' funkcionirovaniya gorodskih ob'ektov ozeleneniya // Hvojnye boreal'noj zony, 2018. T. XXXVI, № 4. S. 292–300.

2. Aksyanova T. Yu., Stupakova O. M., Usova E. A., Filina M. V., Goroshko A. A. Ispol'zovanie hvojnyh rastenij v tipovyh landshaftnyh proektah // Hvojnye boreal'noj zony, 2021. T. XXXIX, № 4, S. 245–252.

3. Babich N. A., Karbasnikova E. B., Andronova M. M., Zalyvskaya O. S., Aleksandrova YU. V., Gaevskij N. P. Stupenchataya introdukcija vidov dendroflory v severo-vostochnuyu chast' Russkoj ravniny (obzor) // Izv. vuzov. Lesh. zhurn. 2021. № 3. S. 73–85.

4. Bratilova N. P. Introdukcija sosny kedrovoj korejskoj na yuge srednej Sibiri // N.P. Bratilova [i dr.] // Hvojnye boreal'noj zony, 2019. T. XXXVII, № 3-4, S. 209–213.

5. Bratilova, N. P., Kalagin V. N., Grishlova M. V., Konovalova D. A., Lapshova M. S. Endogennaya izmenchivost' pokazatelej sosny kedrovoj korejskoj na plantacii // Hvojnye boreal'noj zony, 2020. T. XXXVIII, № 1-2, S. 7–11.

6. Mantulina A. V., Kalagin V. N., Bratilova N. P. Endogennaya izmenchivost' rosta i formirovaniya fitomassy krony kedra sibirskogo // Monitoring lesnyh i lesomeliorativnyh sistem, innovacionnye tekhnologii lesorazvedeniya. Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii, posvyashchyonnoj 100-letiyu so dnya rozhdeniya professora, zaslužennogo lesovoda RSFSR I. V. Treshchevskogo. Voronezh, 2023. S. 84–90.

7. Martynyuk A. A. Stroenie fitomassy kron i ee vertikal'no-frakcionnoe raspredelenie v drevostoyah sosny, podverzhennyh aerotekhnogennomu zagryazneniyu // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – lesnoj vestnik, 2008. № 1, S. 121–126.

8. Matveeva R. N., Butorova O. F. Kollekcija kedrovyyh sosen raznogo geograficheskogo proiskhozhdeniya na opytnykh uchastkah SibGTU: spravochno-uchebnoe posobie. Krasnoyarsk : SibGTU, 2007. 68 s.

9. Matveeva R. N., Martynov V. S. Endogennaya izmenchivost' pokazatelej sosny kedrovoj sibirskoj // Plodovodstvo, semenovodstvo, introdukcija drevesnyh rastenij. Mater. XVIII Mezhduar. nauch. konf. Krasnoyarsk : SibGTU, 2015. S. 46–49.

10. Matveeva R. N., Butorova O. F., SHENmajer N. A. Endogennaya izmenchivost' pokazatelej krony 48-letnej sosny kedrovoj sibirskoj // Lesnoj i himicheskij komplekсы – problemy i resheniya. Mater. Vseros. nauchno-prakt. konf. Krasnoyarsk : SibGU im. M. F. Reshetneva, 2021. S. 75–77.

11. Merzlenko M. D., Kozhenkova A. A., Mel'nik P. G. Rost hvojnyh introducentov v Zapadnom Podmoskov'e // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2017. № 5 (151). S. 86–90.

12. Romanova A. B., Bratilova N. P., Kornienko I. A. Problemy sistemy ozeleneniya urbanizirovannoy territorii na primere istoricheskogo centra goroda Krasnoyarska // Hvojnye boreal'noj zony, 2021. T. XXXIX, № 6. S. 462–468.

13. Suhovol'skij V. G., Ivanova Yu. D., Kovalev A. V. Rost nasazhdenij kedrovoj sosny Pinus sibirica Du Tour raznyh bonitetov: ocenka vliyaniya reguliruyushchih faktorov // Hvojnye boreal'noj zony, 2022. T. XL. № 5. S. 388–394.

14. Usol'cev V. A., Shcherba N. P. Struktura fitomassy kedrovyyh sosen v plantacionnyh kul'turah. Krasnoyarsk : SibGTU, 1998. 134 s.

15. Usol'cev V. A. Vertikal'naya struktura fitomassy derev'ev. Issledovanie zakonomernostej: metody, baza dannyh i ee prilozheniya. Ekaterinburg, 2013. 602 s.

16. Usol'cev V. A., Habibullina N. V., Terekhov G. G. Struktura i geografiya raspredeleniya fitomassy kedrovyyh sosen v Azii // IVUZ. Lesnoj zhurnal, 2013. № 5 (335). S. 32–38.

17. Utkin A. I. Vertikal'no-frakcionnaya struktura fitomassy lesov kak obshchaya platforma raznyh nauchnyh issledovanij // Vertikal'no-frakcionnoe raspredelenie fitomassy. Moskva : Nauka, 1986. S. 6–10.

© Брати́лова Н. П., Кала́гин В. Н.,
Манту́лина А. В., Калашников Р. В.,
Мо́ксина Н. В., Моты́рев Н. О., 2023

Поступила в редакцию 15.10.2023
Принята к печати 01.12.2023