



УДК 630*181.62:630*531

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.9

ВЛИЯНИЕ ГУСТОТЫ ДРЕВОСТОЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ КРОНЫ И РОСТ ПО ДИАМЕТРУ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.)*

В.В. Иванов, канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр.; ORCID: 0000-0003-0799-0716

А.Н. Борисов, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.; ORCID: 0000-0002-7837-5043

А.Е. Петренко, канд. биол. наук, науч. сотр.; ORCID: 0000-0003-3444-5297

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр СО РАН», Академгородок, 50, стр. 28, г. Красноярск, Россия, 660036; e-mail: viktor_ivanov@ksc.krasn.ru, alnik_borisov@mail.ru, alcorsci@bk.ru

Размер короны определяет, каким образом формируется жизненное пространство дерева, его рост и развитие. Объектом исследования является средневозрастное насаждение соснового бора, территориально входящего в Красноярскую островную лесостепь. На постоянной пробной площади, заложенной в лесотаксационном выделе сосняка зеленомошного I класса бонитета (площадь – 0,15 га, число деревьев – более 300 шт.), выполнено картирование деревьев, проведены сплошной пересчет и нумерация деревьев. Крупномасштабная съемка пробной площади была осуществлена с помощью беспилотного летательного аппарата и обеспечила разрешение на местности 25 см. Идентификация пробной площади на снимке и совмещение с ним данных наземного картирования выполнено в программе ArcMap. В этой же программе методами GIS-технологий оцифрованы кроны деревьев и вычислены площади их проекций. Анализ показал хорошее соответствие контуров и площадей проекций крон на снимках натурным данным. В качестве оценки доступного ресурса для дерева в условиях конкуренции в древостое использовалась площадь области доминирования. Установлено, что при площади области доминирования менее 6 м² формируются кроны редкой и средней густоты, имеющие площадь проекции 2...6 м², от 6 до 12 м² – густая крона с площадью проекции до 10 м² и протяженностью более 40 % от высоты дерева. Изучена динамика радиального прироста деревьев после рубки в возрасте 37 лет в зависимости от увеличения площади области доминирования. В течение 4 лет после рубки годичный прирост по диаметру возрастает до 2 раз с повышением величины доступного ресурса. Регрессионный анализ показал наличие тесной связи между площадью проекции крон и площадью области доминирования с коэффициентом корреляции R = 0,84. Использование беспилотного летательного аппарата является перспективным, малозатратным и эффективным методом дистанционного изучения структуры древостоев. Камеральная обработка фотосъемки позволяет получать характеристики площадей проекции крон. Эти данные могут быть применены при назначении рубок ухода и формировании древесного полога одновозрастных сосновых древостоев, обеспечивающих максимальное использование почвенно-светового ресурса и эффективное выполнение экологических функций лесов.

* Авторы выражают благодарность А.В. Рубцову за предоставленное аэрофотоизображение лесного участка.

Для цитирования: Иванов В.В., Борисов А.Н., Петренко А.Е. Влияние густоты древостоя на формирование кроны и рост по диаметру сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // Лесн. журн. 2019. № 3. С. 9–16. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.9

Финансирование: Работа выполнена в рамках фундаментальных научных исследований по программам РАН № 0356-2016-0706. Номер госрегистрации (ЦИТИС) № АААА-А17-117101940014-9 «Теоретические основы сохранения экологического и ресурсного потенциала лесов Сибири в условиях возрастающего антропогенного пресса и климатических аномалий».

Ключевые слова: площадь проекции кроны, древесный полог, древостой, доступный ресурс, продуктивность, радиальный прирост.

Введение

Дерево для своей жизни и роста самостоятельно образует корни, ствол, крону и другие компоненты и формирует условия, обеспечивающие максимальное использование ресурсов места произрастания. И.В. Таран [10], анализируя сведения о максимальной продуктивности сосновых лесов Западной Сибири, приходит к выводу, что биологический потенциал продуктивности сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) используется в среднем только на 20 %. При оптимальном сочетании почвенно-светового ресурса можно значительно повысить продуктивность сосняков.

В научной литературе [11, 12] приводятся данные о форме вертикальной и горизонтальной проекций крон, их изменениях в зависимости от таксационных характеристик древостоев. Размер кроны значительно коррелирует с ростом отдельных структур дерева и биомассы в целом [15]. Применение дистанционных методов обеспечивает более детальное исследование полога древостоев. Проблемы изучения горизонтальной и вертикальной структуры, сомкнутости крон и полога древостоя нашли отражение в многочисленных публикациях [1, 3, 6, 7, 9, 14].

В лесохозяйственной практике оценка размера кроны считается жизненно важной, поскольку она связана со многими показателями (объемом ствола, эффективностью прироста, жизненным состоянием деревьев и др.), которые изучены недостаточно. Это обусловлено во многом трудоемкостью определения этих характеристик с помощью традиционных наземных методов.

Цель данной работы – изучение горизонтальной структуры соснового древостоя и проекции крон деревьев на основе данных наземного картирования и аэрофотосъемки с помощью беспилотного летательного аппарата (БПЛА).

Объекты и методы исследования

Объектом исследований является сосновое насаждение экспериментального хозяйства Института леса СО РАН «Погорельский бор», территориально входящего в Красноярскую островную лесостепь. Чистое по составу средневозрастное сосновое насаждение сформировано на вырубке 1965 г. Постоянная пробная площадь (ПП) заложена в лесотаксационном выделе сосняка зеленомошного I класса бонитета. Площадь ПП – 0,15 га с числом деревьев более 300 шт., что обеспечило репрезентативность результатов. На ПП выполнено наземное картирование деревьев с точностью ± 10 см, проведены сплошной пересчет и нумерация деревьев. К 37-летнему возрасту насаждение обладало высокими полнотой и густотой и характеризовалось значительной дифференциацией деревьев по диаметру. В возрасте 37 лет были проведены

рубки ухода по низовому методу интенсивностью около 45 % по числу стволов. Основные таксационные характеристики ПП приведены в таблице.

Основные таксационные показатели древостоя на ПП

Возраст, лет	Состояние	Густота, шт./га	Средний диаметр, см	Средняя высота, м	Сумма площадей сечения, м ² /га	Полнота	Запас, м ³ /га
37	До рубки	5460	11,8	16,7	45,2	1,3	370
	После рубки	2727	13,9	18,0	36,9	1,0	320
51	Через 14 лет после рубки	2420	15,8	19,0	47,4	1,3	430

В ходе исследования была выполнена крупномасштабная съемка 51-летнего соснового древостоя с помощью квадрокоптера DJI Phantom 3 Pro с высоты 150 м, что позволило получить центральную проекцию, избежать искажений в виде так называемого развала деревьев на краях исследуемого участка и обеспечило разрешение на местности около 25 см. Идентификация ПП на снимке и совмещение данных наземного картирования со снимком выполнено в программе ArcMap. В этой же программе методами GIS-технологий были околтурены кроны всех деревьев и вычислены площади их проекций. Проведено сравнение точности оценок площадей проекций крон, полученных по натурным измерениям, с данными камеральной обработки по снимкам. С этой целью для 25 деревьев в 8 азимутальных направлениях замерялись радиусы крон и вычислялись площади их проекций.

Густота кроны для каждого дерева определялась с использованием методических положений Л.Ф. Правдина [8]: 1 – густая, скелетные ветви просматриваются на 10...20 %; 2 – средняя, скелетные ветви просматриваются на 50 %; 3 – редкая (ажурная), видны все скелетные ветви. Высота дерева и протяженность кроны измерялись лазерным высотомером-дальномером TruPulse 200.

Доступный ресурс для каждого дерева оценивался методом областей доминирования (ОД). Под ресурсом здесь понимаются факторы, образующие экологическую нишу вида, которые обеспечивают его жизнедеятельность. В предложенном подходе ОД – это та область, в которой особь оказывает на среду обитания доминирующее влияние в пространственном освоении ресурса в предположении, что это влияние прямо пропорционально размеру особи и обратно пропорционально квадрату расстояния от нее до точки влияния [2, 4]. Степень этого влияния на ресурсы оценивается как

$$\begin{cases} E = \frac{k}{P(x, y)} \frac{G}{((x-x_0)^2 + (y-y_0)^2)}, & E \geq E_0; \\ E = 0, & E < E_0, \end{cases} \quad (1)$$

где k – размерный коэффициент; $P(x, y)$ – показатель ресурсного потенциала для изучаемого объекта в точке с координатами (x, y) ; G – площадь поперечного сечения дерева; x_0, y_0 – координаты расположения особи; E_0 – пороговое значение, такое, что при $E < E_0$ влияние особи в данной точке можно не учитывать.

Таким образом, E – безразмерная относительная величина, поэтому в (1) можно положить $k = 1$. Областью доминирования дерева является область, в которой для каждой точки $E(x, y)$ больше рассчитанной для его ближайших соседей. Площадь ОД ($S_{ОД}$) используется в качестве оценки доступного для дерева ресурса.

Статистический анализ данных выполнен с использованием программ Excel и Statistica.

Результаты исследования и их обсуждение

Индивидуальные характеристики деревьев в древостое в основном определяются распределением доступного ресурса между конкурирующими за него особями. Кроны в процессе роста дерева более гибко (по сравнению со стволом) реагируют на эндогенные и экзогенные факторы. Поэтому после рубки ухода можно ожидать изменение в форме и площади проекции кроны как следствие улучшения доступного ресурса и условий роста.

На ПП до 37-летнего возраста не проводилось рубок, и древостой формировался в отсутствие внешних воздействий. Однако вследствие отпада деревьев, ветровала или рубки происходит перераспределение доступного ресурса и уже на следующий год наблюдается увеличение годичного радиального прироста. Размер кроны определяет, как формируется жизненное пространство дерева, которое связано с наличием всех необходимых ресурсов для его роста [13].

На исследуемом участке через 14 лет после рубки ухода измерены площади проективного покрытия кроны $S_{кр}$. Рассчитанная по этим данным сомкнутость полога на ПП составила 0,68. Кроме того, для 25 деревьев выполнены натурные измерения характеристик кроны, включая измерение радиусов кроны по 8 азимутальным направлениям. Проведенный анализ показал хорошее соответствие контуров и площадей проекций кроны на снимках натурным данным. Среднее расхождение по площади для этих двух методов – $(0,52 \pm 0,21) \text{ м}^2$. Следует отметить, что в случаях большой изрезанности формы кроны оконтуривание по снимкам дает лучшие результаты, так как при натуральных измерениях радиусов кроны в 8 направлениях зачастую происходит сглаживание их реальных контуров.

Фрагмент ПП, приведенный на рис. 1, дает наглядное представление о размещении деревьев на участке и крон относительно положения стволов и границ ОД.

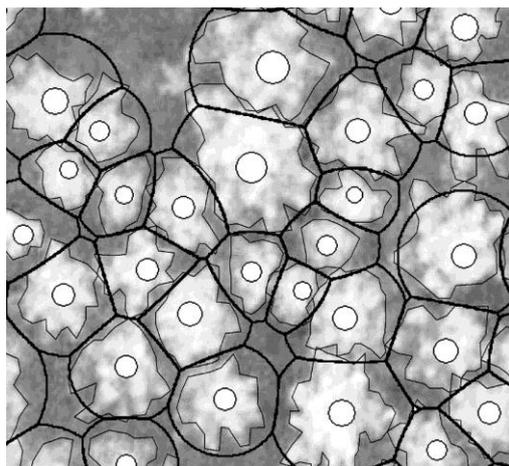


Рис. 1. Фрагмент ПП с контурами кроны и областей доминирования (белые круги – положение стволов деревьев; жирные линии – области доминирования)

Fig. 1. Trial plot fragment with contours of crowns and dominance areas (white circles – position of tree trunks; thick lines – dominance areas)

Регрессионный анализ показал наличие тесной связи между $S_{кр}$ и $S_{ОД}$, описываемой следующим уравнением:

$$S_{кр} = 0,655 + 0,345S_{ОД} \quad \text{при } R = 0,84, \quad (2)$$

где R – коэффициент корреляции (рис. 2).

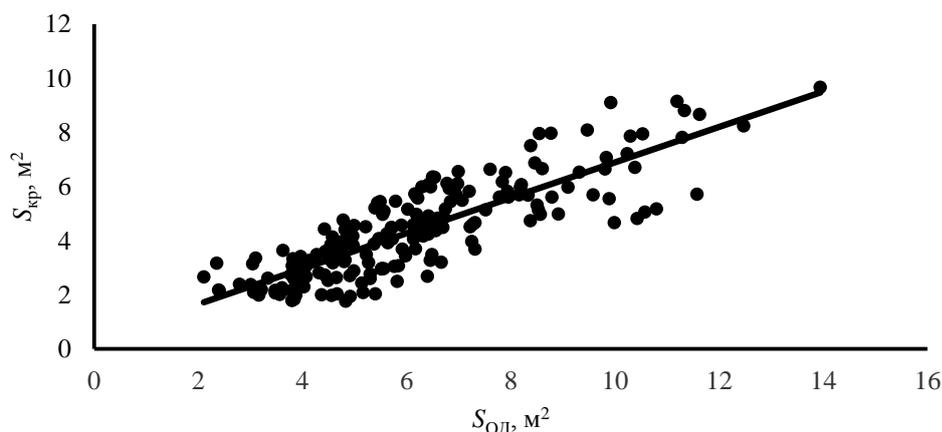


Рис. 2. Зависимость площади проективного покрытия кроны $S_{кр}$ от площади областей доминирования $S_{од}$ в 51-летнем сосновом древостое

Fig. 2. Dependence of crown projection area ($S_{кр}$) on dominance area ($S_{од}$) in 51-year-old pine stand

В условиях малой величины доступного ресурса ($S_{од} < 6 \text{ м}^2$) формируются кроны средней и редкой густоты с площадью проекции $2 \dots 6 \text{ м}^2$. Относительная протяженность кроны у таких деревьев $\leq 30\%$ их высоты. У деревьев при $S_{од} = 6 \dots 12 \text{ м}^2$ формируется густая крона с площадью проекции до 10 м^2 и протяженностью $\geq 30\%$ их высоты.

В.Г. Атрохин и И.К. Иевинь [1] установили, что загущенное насаждение после выборки 34% деревьев показывает наибольшее усвоение диоксида углерода, а увеличение активно продуцирующей части кроны приводит к повышению продуктивности древесной массы в насаждении. По данным В.Н. Коновалова [5], крупномерные деревья, занимая лидирующее положение в пологе древостоя, отличаются более высокой физиологической активностью. В результате несплошной рубки высокой интенсивности фотосинтез у них возрастает на 30%, а транспирация – на 20%. Через 14 лет они на 28% увеличивают массу стволовой древесины.

Диаметр ствола в каждом конкретном возрасте является результатом кумулятивного эффекта роста дерева под воздействием эндогенных и экзогенных факторов. При отсутствии экзогенного воздействия в древостое существует зависимость между диаметром ствола на высоте груди $d_{1,3}$ и $S_{од}$, которая в 37-летнем возрасте до проведения рубки имеет следующий вид:

$$d_{1,3} = 5,63 + 1,94S_{од} \text{ при } R = 0,89. \quad (3)$$

В этом возрасте наблюдалась большая дифференциация деревьев по диаметру ствола, среднее значение $S_{од} = 1,65$ при относительном отклонении $0,96 \text{ м}^2$.

Рост по диаметру изучается обычно по данным периодических обмеров на постоянных ПП. Другой подход применяется в случае невозможности постоянных наблюдений и основан на анализе годичных приростов по кернам. Динамика радиального ежегодного прироста на ПП была изучена по кернам 250 деревьев. В результате рубки древостоя в возрасте 37 лет произошло перераспределение доступного ресурса, что привело к увеличению радиального прироста начиная со второго года после рубки. Анализ динамики радиального прироста деревьев в зависимости от возрастания площади области доминирования (dS) в результате рубки показал, что в группе, где $dS \geq 1,5 \text{ м}^2$, радиальный прирост увеличился от

0,9 до 1,7 мм/год; для деревьев, у которых $1,5 > dS > 0,5 \text{ м}^2$, – от 0,7 до 1,3 мм/год; в группе с $dS \leq 0,5 \text{ м}^2$ – только от 0,6 до 0,9 мм/год.

Таким образом, в разреженных рубками ухода средневозрастных сосновых древостоях деревья более эффективно используют доступный ресурс, формируют хорошо развитую крону и имеют устойчивый рост по диаметру. Выращивание высокопродуктивных деревьев обеспечит формирование структуры древостоя, соответствующей целевому назначению сосновых насаждений.

Заключение

Средообразующие, защитные и рекреационные функции лесов тесно связаны с характеристиками древесного полога. Проведенные исследования позволили установить наличие тесной связи величины доступного ресурса, а соответственно и густоты древостоя, с площадью проекции крон деревьев в средневозрастных сосновых древостоях. В условиях малой величины доступного ресурса (при $S_{\text{од}} \leq 6 \text{ м}^2$) формируются кроны редкой и средней густоты с площадью проекции 2...6 м^2 . Протяженность крон у таких деревьев составляет менее 30 % высоты дерева, у деревьев с $S_{\text{од}} = 6...12 \text{ м}^2$ формируется густая крона с площадью проекции до 10 м^2 и протяженностью более 30 % высоты дерева.

Упрощенные натурные методы измерения диаметра кроны дают значительные ошибки при оценке площади проекции крон. Использование современных беспилотных летательных аппаратов служит альтернативой наземным обследованиям, что позволяет существенно снизить трудоемкость полевых работ и получить благодаря высокому разрешению достаточную точность измерений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атрохин В.Г., Иевинь И.К. Рубки ухода и промежуточное лесопользование. М.: Агропромиздат, 1985. 254 с.
2. Борисов А.Н. Метод оценки распределения ресурса между деревьями в древостое // Состояние лесов и актуальные проблемы лесопользования: материалы Всерос. конф. с междунар. участием, г. Хабаровск, 10–11 окт. 2013 г. Хабаровск: Изд-во ДальНИИЛХ, 2013. С. 293–296.
3. Вайс А.А. Форма крон деревьев сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L.) в чистых высокогустотных насаждениях Минусинской котловины Красноярского края // Хвойные бореальной зоны. 2017. Т. XXXV, № 3–4. С. 14–20.
4. Иванов В.В., Борисов А.Н., Петренко А.Е., Семякин Д.А., Собачкин Д.С., Собачкин Р.С. Густота сосновых древостоев при интенсивном лесовыращивании // Сибир. лесн. журн. 2017. № 6. С. 102–109. DOI:10.15372/SJFS20170608
5. Коновалов В.Н. Особенности физиологических процессов у сосны и ели при сплошных и выборочных рубках // Вестн. Помор. ун-та. Сер.: Естеств. науки. 2011. № 2. С. 53–60.
6. Кузмичев В.В. Закономерности динамики древостоев: принципы и модели. Новосибирск: Наука, 2013. 208 с.
7. Нагимов З.Я., Сальникова И.С. Строение крон деревьев сосны // Леса Урала и хозяйство в них. Екатеринбург: УГЛТУ, 2004. Вып. 24. С. 161–169.
8. Правдин Л.Ф. Сосна обыкновенная. Изменчивость, внутривидовая систематика и селекция. М.: Наука, 1964. 189 с.
9. Сальникова И.С. Структура и динамика фитомассы древесного полога в сосняках Среднего Урала: дис. ... канд. с.-х. наук. Екатеринбург, 2005. 296 с.
10. Таран И.В. Сосновые леса Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 1973. 292 с.
11. Coonen E.J., Sillett S.C. Separating Effects of Crown Structure and Competition for Light on Trunk Growth of *Sequoia sempervirens* // Forest Ecology and Management. 2015. Vol. 358. Pp. 26–40. DOI: 10.1016/j.foreco.2015.08.035

12. Fisher A., Scarth P., Armston J., Danaher T. Relating Foliage and Crown Projective Cover in Australian Tree Stands // *Agricultural and Forest Meteorology*. 2018. Vol. 259. Pp. 39–47. DOI: 10.1016/j.agrformet.2018.04.016

13. O'Hara K.L. Stand Structure and Growing Space Efficiency Following Thinning in an Even-Aged Douglas-Fir Stand // *Canadian Journal of Forest Research*. 1988. Vol. 18, no. 7. Pp. 859–866. DOI: 10.1139/x88-132

14. Raptis D., Kazana V., Kazaklis A., Stamatiou Ch. A Crown Width-Diameter Model for Natural Even-Aged Black Pine Forest Management // *Forests*. 2018. Vol. 9, iss. 10, article no. 610. 19 p. DOI: 10.3390/f9100610

15. Sharma R.P., Bílek L., Vacek Z., Vacek S. Modelling Crown Width-Diameter Relationship for Scots Pine in the Central Europe // *Trees*. 2017. Vol. 31, iss. 6. Pp. 1875–1889. DOI: 10.1007/s00468-017-1593-8

Поступила 20.01.19

UDC 630*181.62:630*531

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.9

Influence of Stand Density on Crown Formation and Growth along the Diameter of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.)

V.V. Ivanov, Candidate of Agriculture, Senior Research Scientist;
ORCID: [0000-0003-0799-0716](https://orcid.org/0000-0003-0799-0716)

A.N. Borisov, Candidate of Engineering, Senior Research Scientist;
ORCID: [0000-0002-7837-5043](https://orcid.org/0000-0002-7837-5043)

A.E. Petrenko, Candidate of Biology, Research Scientist; ORCID: [0000-0003-3444-5297](https://orcid.org/0000-0003-3444-5297)

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Federal Research Center “Krasnoyarsk Science Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences”, Akademgorodok, 50, stroyeniye 28, Krasnoyarsk, 660036, Russian Federation;
e-mail: viktor_ivanov@ksc.krasn.ru, alnik_borisov@mail.ru, alcorsci@bk.ru

Crown size determines tree's life space formation, its growth and development. The research object was a middle-aged pine stand spatially included in the Krasnoyarsk island forest-steppe. The permanent trial plot of 0.15 ha size with over 300 trees was established in high-yield green moss pine forest. Each tree on the plot was mapped and assigned with an individual number; its diameter at breast height was measured. A large-scale survey of the trial plot with resolution of 25 cm was acquired using the unmanned aerial vehicle (UAV). The trial plot identification on the image and its matching with the land-based mapping data were performed in ArcMap. In this program crowns of all trees are outlined and areas of their projections are calculated using GIS-technology methods. The data analysis showed a close correlation between crown projection contours and areas and the field data. Dominance area ($S_{ОД}$) was used as an available resource valuation for a tree in the competition conditions in a forest stand. Dominance area is defined as an area, where each individual tree has dominating influence in space around it and obtains light and soil resource in assumption that this influence is directly proportional to sample size and inverse to squared distance to it. It was found that crowns of rare and medium density with projection area ($S_{кр}$) of 2...6 m² are formed in case of a low dominance area (less than 6 m²). Crowns with $S_{ОД}$ of 6...12 m² have high density and projection area up to 10 m² and length more than 40 % of tree height. The dynamics of tree radial increment after thinning at the age of 37 was studied depending on the dominance area increase. During 4 years after thinning, annual radial increment increases up to 2 times with increase of available resource. Regression analysis has shown strong correlation between crown projection area and dominance area with a correlation coefficient $R = 0.84$. Use of UAV is a promising, low-cost and effective technique of distance studying the tree stand structure. Office analysis of images allows to obtain crown projection area characteristics. These data can be used in improvement thinning and forming of even-aged pine stand canopy, which provide the maximum use of light and soil resource and effective ecological forest functioning.

For citation: Ivanov V.V., Borisov A.N., Petrenko A.E. Influence of Stand Density on Crown Formation and Growth along the Diameter of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.). *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2019, no. 3, pp. 9–16. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.9

Funding: The research was carried out within the framework of fundamental scientific research programs of the Russian Academy of Sciences no. 0356-2016-0706. State Registration (TsITIS) no. AAAA-A17-117101940014-9 “Theoretical Foundations for the Ecological and Resource Potential Conservation of Siberian Forests in the Conditions of Increasing Anthropogenic Pressure and Climatic Anomalies”.

Acknowledgements: The authors are grateful to Rubtsov A.V. for the provided aerial photographic image of the forest site.

Keywords: crown projection area, tree canopy, tree stand, available resource, productivity, radial increment.

REFERENCES

1. Atrokhin V.G., Ievin' I.K. *Improvement Thinning and Intermediate Forest Management*. Moscow, Agropromizdat Publ., 1985. 254 p.
2. Borisov A.N. The Method of an Estimation of Sharing of a Resource between Trees in a Forest Stand. *State of the Forests, Actual Problems of Forestry and Forest Management: Materials of International Conference, October 10–11, 2013, Khabarovsk*. Khabarovsk, DalNIILH Publ., 2013, pp. 293–296.
3. Vais A.A. Form of Tree Crowns Pine (*Pinus sylvestris* L.) in Pure Plantations High Dense Minusinsk Basin of the Krasnoyarsk Region. *Khvoynnye boreal'noy zony* [Conifers of the Boreal Area], 2017, vol. XXXV, no. 3–4, pp. 14–20.
4. Ivanov V.V., Borisov A.N., Petrenko A.E., Semenyakin D.A., Sobachkin D.S., Sobachkin R.S. The Density of Pine Stands under Intensive Forest Growing. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* [Siberian Journal of Forest Science], 2017, no. 6, pp. 102–109. DOI:10.15372/SJFS20170608
5. Kononov V.N. Physiological Peculiarities in Pine and Spruce in Clean and Selective Felling]. *Vestnik Pomorskogo universiteta. Seriya: Estestvennyye nauki*, 2011, no. 2, pp. 53–60.
6. Kuzmichev V.V. *Dynamics Regularities of Forest Stands: Principles and Models*. Novosibirsk, Nauka Publ., 2013. 208 p.
7. Nagimov V.Z., Sal'nikova I.S. Crown Structure of Pine Trees. *Lesnaya Urala i khozyaystvo v nikh*, 2004, vol. 24, pp. 161–169.
8. Pravdin L.F. *Scots Pine. Variability, Intraspecific Systematics and Selection*. Moscow, Nauka Publ., 1964. 189 p.
9. Sal'nikova I.S. *Structure and Dynamics of Tree Canopy Phytomass in Pine Forests of Middle Ural*: Cand. Agric. Sci. Diss. Ekaterinburg, 2005. 296 p.
10. Taran I.V. *Pine Forests of Western Siberia*. Novosibirsk, Nauka Publ., 1973. 292 p.
11. Coonen E.J., Sillett S.C. Separating Effects of Crown Structure and Competition for Light on Trunk Growth of *Sequoia sempervirens*. *Forest Ecology and Management*, 2015, vol. 358, pp. 26–40. DOI: 10.1016/j.foreco.2015.08.035
12. Fisher A., Scarth P., Armston J., Danaher T. Relating Foliage and Crown Projective Cover in Australian Tree Stands. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2018, vol. 259, pp. 39–47. DOI: 10.1016/j.agrformet.2018.04.016
13. O'Hara K.L. Stand Structure and Growing Space Efficiency Following Thinning in an Even-Aged Douglas-Fir Stand. *Canadian Journal of Forest Research*, 1988, vol. 18, no. 7, pp. 859–866. DOI: 10.1139/x88-132
14. Raptis D., Kazana V., Kazaklis A., Stamatiou Ch. A Crown Width-Diameter Model for Natural Even-Aged Black Pine Forest Management. *Forests*, 2018. vol. 9, iss. 10, article no. 610. 19 p. DOI: 10.3390/f9100610
15. Sharma R.P., Bílek L., Vacek Z., Vacek S. Modelling Crown Width-Diameter Relationship for Scots Pine in the Central Europe. *Trees*, 2017, vol. 31, iss. 6, pp. 1875–1889. DOI: 10.1007/s00468-017-1593-8

Received on January 20, 2019