

УДК 630\*232

**О. А. Севко, В. В. Коцан**

Белорусский государственный технологический университет

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ  
НА ТАКСАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ В СЛОЖНОМ ДРЕВОСТОЕ**

В данной работе представлены результаты исследования, проведенного в сложных смешанных сосново-еловых с примесью березы древостоях в возрасте 70–80 лет. Влияние пространственной структуры оценивалось параллельно с межвидовыми отношениями в древостое. Для каждого дерева определялись местоположение в системе условных координат, по два перпендикулярных диаметра, высота дерева, высота начала кроны, 4 радиуса кроны. С помощью компонентов Q-ГИС была сформирована цифровая карта пробной площади.

На основании пространственного распределения деревьев для каждой породы (сосны, ели, березы) определялись центральные деревья, различные по интенсивности прироста. Далее для каждого из центральных деревьев трех исследуемых пород были определены деревья-соседи и взяты керны, на основании анализа данных которых впоследствии определялся средний годичный радиальный прирост. С помощью регрессионного анализа оценено влияние соседних деревьев на центральные деревья и определены наиболее значимые воздействующие параметры.

**Ключевые слова:** текущий прирост, пространственная структура, сосново-березовый древостой, регрессионный анализ.

**O. A. Sevko, V. V. Kotsan**

Belarusian State Technological University

**ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF SPATIAL STRUCTURE  
ON TAXATION INDICATORS IN COMPLEX TREE**

This paper presents the results of a study conducted in complex mixed pine-spruce mixed with birch stands at the age of 70–80 years. The influence of the spatial structure was evaluated in parallel with interspecific relationships in the stand. For each tree, the location in the system of conditional coordinates was determined, two perpendicular diameters, the height of the tree, the height of the beginning of the crown, 4 radius of the crown. Using Q-GIS components, a digital trial plot map was generated.

Based on the spatial distribution of trees for each species, pine, spruce, birch, central trees were determined, different in growth rate. Further, for each of the central trees of the three studied species, neighbor trees and core samples were determined, but based on an analysis of the data which subsequently determined the average annual radial growth. Using regression analysis, the influence of neighboring trees on central trees was estimated and the most significant impacting parameters were determined.

**Key words:** current growth, spatial structure, current growth, spatial structure, pine-spruce forest stand, regression analysis.

**Введение.** Большое количество исследований в области лесоведения говорят о высокой роли конкуренции за ресурсы, связанной с размещением деревьев на площади. Таксационный выдел очень мозаичен. Процессы воздействия растений друг на друга следует рассматривать как совокупность явлений. Учет конкуренции между деревьями должен использоваться для повышения точности оценки годичного прироста и насаждения в целом.

Элементарным объектом в таксации леса считается растущее дерево. Оценка уровня конкуренции, которой подвергается растущее дерево, позволяет получать больше информации о таксационных особенностях роста древостоев, определить ряд технологических особенностей в области рубок ухода.

Необходимо учитывать факт, что рост растения зависит от минерального питания, климата, поступления влаги и т. д. Также для изучения роста деревьев необходимо оценивать уровень взаимоотношений между древостоем и отдельными деревьями, которые характеризуют состояние растительных сообществ [1].

Особенно большую роль во взаимоотношениях деревьев играют затенение и корневая конкуренция за питательные вещества в почве, именно это часто определяет исход конкурентной борьбы.

Исследования динамики таксационных показателей смешанных древостоев приведены в различных литературных источниках как белорусских, так и зарубежных авторов [2, 3, 4, 5].

В лесу в результате жестокой конкуренции часть деревьев погибает. При рассмотрении

роста одновозрастных древостоев можно выявить значительную конкуренцию в молодняках: густота очень велика, деревья стоят густо, отпад наибольший. С течением времени в средневозрастных и приспевающих древостоях процесс отмирания несколько замедляется. Когда деревья становятся спелыми, рост их в высоту и разрастание крон в ширину практически прекращаются. Они уже мало конкурируют друг с другом, каждое дерево занимает свое определенное место в лесу и не подавляет своих соседей. Взаимное влияние деревьев остается, но оно довольно слабое. Численность деревьев на единице площади стабилизируется. Итак, процесс естественного отмирания деревьев с возрастом леса имеет одну очень характерную особенность: вначале отмирание идет очень быстрыми темпами, а затем все более и более замедляется.

Поэтому при моделировании роста и продуктивности деревьев в насаждениях и динамики органического вещества в лесных экосистемах должны учитываться конкурентные отношения – через показатели конкуренции. Учет конкурентных отношений между деревьями необходим для повышения точности оценки фитомассы и годичного прироста как деревьев, так и насаждения в целом.

При исследовании биопродуктивности деревьев в насаждениях большую роль играет учет влияния конкурентных отношений, связанных с характером размещения деревьев на площади. По мнению С. Н. Сеннова [6], из всех факторов, влияющих на процесс взаимодействия растений между собой, вклад конкуренции, или количественное выражение конкурентных отношений, легче всего определить с использованием индекса конкуренции (CI), поскольку в методическом отношении это довольно просто. Аналогичные подходы наблюдаются в работах В. В. Коцана [7, 8, 9] и О. А. Севко [10].

Методы учета конкурентных отношений посредством различных показателей конкуренции и их влияние на продукционные характеристики подразделяются на оценку без учета характеристик центрального дерева, но с выявлением оптимального радиуса влияния, или с учетом названных характеристик центрального дерева, но без выявления оптимального радиуса влияния.

В работах В. А. Усольцева и М. М. Семьшева описана попытка совместить различные подходы и выявить влияние нескольких показателей конкуренции на фитомассу и прирост ствола дерева с учетом его таксационных характеристик и с установлением оптимального радиуса влияния в чистых естественных и искусственных сосняках [11].

Вопрос оптимального расстояния остается актуальным при производстве лесных культур, проведении рубок ухода и лесоустроительном проектировании. Величина данного показателя зависит от большого количества факторов.

Поэтому однозначно дать ему численную характеристику по каждой породе невозможно. Его можно выразить моделью зависимости от группы факторов. Современные методы и технологии позволяют решить поставленные задачи. С их помощью можно проводить сравнительный анализ разновременных картографических материалов одних и тех же пробных площадей или стационаров с одинаковыми условиями, но разными моделями рубки. Это позволит сделать правильные выводы и быстрее найти нужную закономерность для успешного развития леса.

**Основная часть.** Все масштабные и точные исследования лесного биогеоценоза всегда связаны с закладкой постоянных пробных площадей (стационаров). Информация, собранная на них, всегда самая точная, потому что является результатом измерения множества показателей как отдельного дерева (диаметр, высота, высота штамба, диаметр кроны и др.), так и всего древостоя (полнота, сомкнутость, расстояние между деревьями и др.).

В данной работе представлены результаты исследования, проведенного в сложных смешанных сосново-елово-березовых древостоях в возрасте 70–80 лет. Влияние пространственной структуры оценивалось параллельно с межвидовыми отношениями в древостое.

Для выполнения данной работы была заложена пробная площадь в 11-м выделе 48-го квартала Центрального лесничества Негорельского учебно-опытного лесхоза.

При работе на стационаре сбор полевого материала был разделен на два этапа: первый – картирование местонахождения деревьев, второй – измерение параметров деревьев.

Диаметр стволов измерялся мерной вилкой, высота деревьев – оптическим высотомером SUUNTO PM5/1520. Радиус кроны, так же как и положения деревьев в системе координат, определялся с помощью ультразвукового дальномера Haglolf DME.

Для каждого дерева на пробной площади определялись местоположение в системе условных координат методом линейных засечек в квадратах 10×10 м (рис. 1), по два перпендикулярных диаметра, высота дерева, высота начала кроны, четыре радиуса кроны.

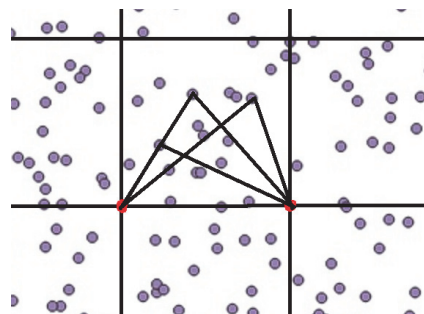


Рис. 1. Определение координат деревьев

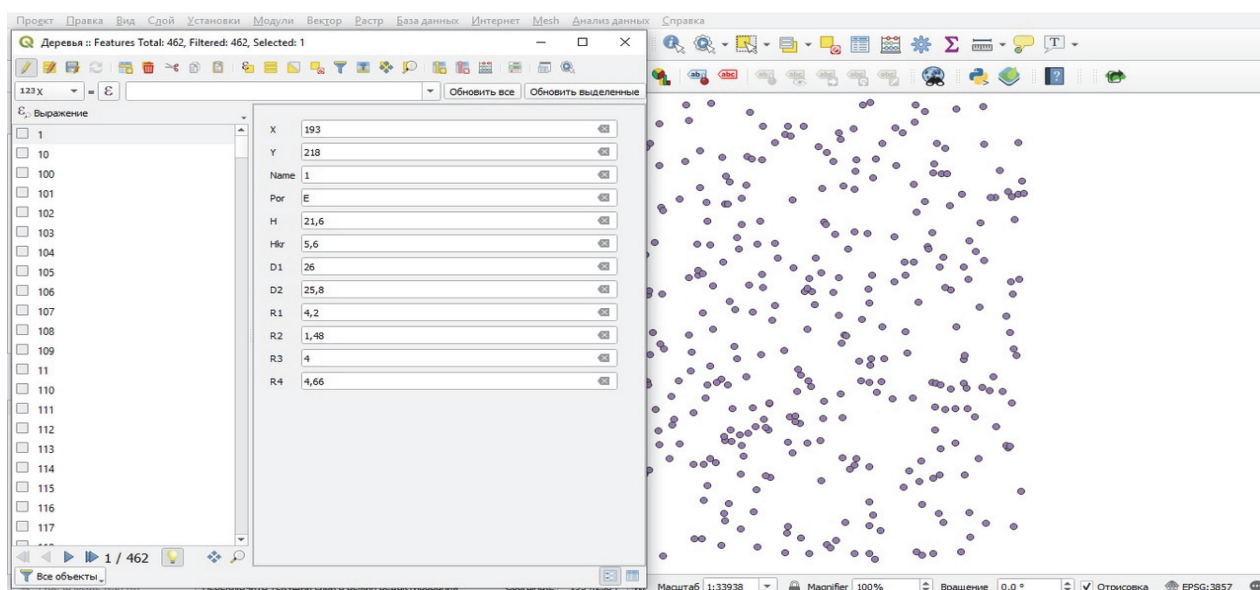


Рис. 2. Векторный слой и атрибутивные данные

Собранные данные вносились в геоинформационную систему «Quantum GIS». В ходе обработки экспериментальных данных и картирования по собранным в процессе полевых работ координатам была определена пространственная структура древостоя [12]. С помощью компонентов Q-ГИС была сформирована цифровая карта пробной площади (рис. 2).

Для дальнейшего анализа методом стратифицированной выборки было подобрано по 25 деревьев всех присутствующих пород, что составило от 10% (по ели) до 25% (по березе) от количества стволов по породам на пробной площади. Данные деревья были приняты центральными в своих био-группах. Для этих стволов брались керны, на основании анализа данных которых в последствии определялся средний годичный радиальный прирост.

Измерение ширины годичных колец проводилось после подготовки поверхности для получения четкого изображения. Перед обрезкой продольной стороны образец смазывался 3%-ным раствором глицерина, что значительно облегчало обрезку и повышало контраст между поздним и ранним приростом. Обрезка керны проводилась острым ножом перпендикулярно направлению древесных волокон. Радиальный прирост измерялся посредством измерения ширины годичных колец строго перпендикулярно их границам (рис. 3).

Далее для каждого из центральных деревьев трех исследуемых пород были определены деревья-соседи, влияющие на их таксационные показатели (рис. 4).



Рис. 3. Фотография керны при измерении годичного радиального прироста

Первоначально уравнения строились на зависимости прироста от одного какого-либо таксационного показателя соседнего дерева. Нельзя сказать, что какой-то из показателей влияет на прирост центральных деревьев в большей степени. Смешанный древостой является сложным биогеоценозом, поэтому необходимо подобрать такие уравнения, которые наилучшим образом описали бы влияние деревьев различных пород на прирост центральных деревьев.

Исследование показало необходимость использования большего количества переменных. Однако не представляется возможным получить графическое отображение более сложных уравнений.

Влияние ели на ель оказалось незначительным ( $R = 0,3-0,4$ ) (табл. 1), круги конкуренции самой ели редко пересекаются между собой, при этом ель находится под гораздо большим влиянием вышестоящих сосны и березы. Регрессионный анализ уравнений связи таксационных показателей березы (диаметра, высоты, радиуса кроны) и расстояния до центральных деревьев ели с таксационными показателями ели выявил также незначительную корреляцию –  $0,41-0,46$ . Корреляция таксационных показателей и расстояния до центральных деревьев ели с радиальным приростом ели достигает  $0,71$ , на высоту влияние гораздо ниже –  $R = 0,36$ .

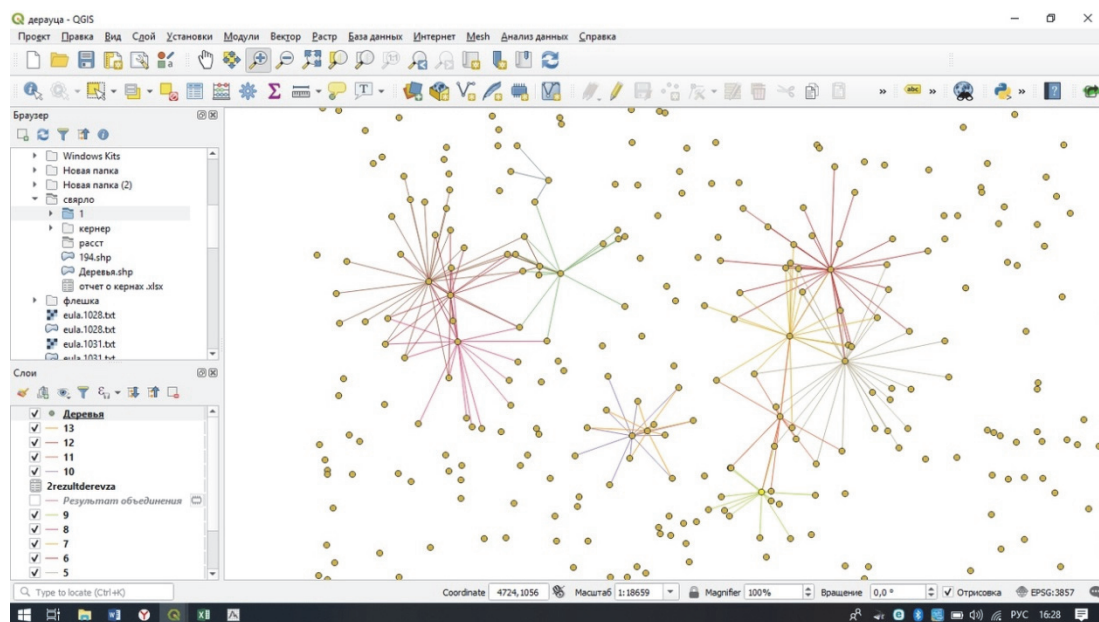


Рис. 4. Картографическая информация по Лименскому лесничеству по расположению промежуточных складов с необходимой продукцией

Таблица 1  
Уравнения зависимости таксационных показателей ели от параметров соседних деревьев

Показатель	Уравнения	Коэффициент корреляции R
Влияние ели		
$Z_r$	$b_0+b_1/(L+R)+b_2/H^2+b_3/D^3$	0,29384376
$D$	$b_0+b_1/(L \cdot R)+b_2 \cdot H^2+b_3 \cdot D^3$	0,31957192
$H$	$b_0+b_1/(L \cdot R)+b_2 \cdot H^2+b_3 \cdot D^3$	0,28020153
$R$	$b_0+b_1/(L \cdot R)+b_2 \cdot H^2+b_3 \cdot D^3$	0,32789168
Влияние сосны		
$Z_r$	$b_0+b_1/L+b_2 \cdot H^2+b_3 \cdot D^2$	0,72471296
$D$	$b_0+b_1/L^3+b_2 \cdot H^2+b_3/D^3+b_4/R$	0,37936493
$H$	$b_0+b_1/L^3+b_2 \cdot H^3+b_3/D^3+b_4/R$	0,36669121
$R$	$b_0+b_1/L^3+b_2 \cdot H^2+b_3/D^3+b_4/R^3$	0,36793422
Влияние березы		
$Z_r$	$b_0+b_1/L+b_2 \cdot H^3+b_3 \cdot D^2$	0,4147779
$D$	$b_0+b_1/L+b_2 \cdot H^3+b_3 \cdot D^2$	0,46692255
$H$	$b_0+b_1/L+b_2 \cdot H^3+b_3 \cdot D^2$	0,46704217
$R$	$b_0+b_1/(L \cdot R)+b_2/H^2+b_3/D^3$	0,60027399
Влияние пней		
$Z_r$	$b_0+b_1 \cdot L+b_2 \cdot L^3$	0,31328328
$D$	$b_0+b_1/L+b_2 \cdot L^3$	0,35596784
$H$	$b_0+b_1/L+b_2 \cdot L^3$	0,31216424

Влияние соседних пород на таксационные показатели березы выявлено не было. Вероятно, в данном случае это связано с незначительной долей березы, большим расстоянием до этих деревьев, доминированием крон березы при сравнении с другими породами. Их влияние на соседние деревья выше. Следовательно, оценивать влияние на березу надо в более раннем возрасте.

На центральные деревья сосны влияние березы значительно, зависимость диаметров сосны от таксационных показателей березы и пространственной структуры можно описать регрессионным уравнением с корреляцией до 0,79. Влияние на деревья сосны может описываться регрессионными уравнениями связи с корреляцией около 0,6 (табл. 2).

Таблица 2  
Уравнения зависимости таксационных показателей сосны от параметров соседних деревьев

Показатель	Уравнения	Коэффициент корреляции R
Береза		
$D$	$b_0+b_1 \cdot L^2+b_2 \cdot D+b_3 \cdot H+b_4 \cdot R^2$	0,79313954
$H$	$b_0+b_1/L^3+b_2 \cdot D+b_3 \cdot H+b_4 \cdot R$	0,70018238
$R$	$b_0+b_1 \cdot L+b_2/D^3+b_3 \cdot H+b_4/R^3$	0,63386477
Сосна		
$D$	$b_0+b_1 \cdot L^2+b_2/H+b_3 \cdot D+b_4 \cdot R^2$	0,70253009
$H$	$b_0+b_1 \cdot H+b_2 \cdot D+b_3 \cdot R^3+b_4/L^3$	0,78374370
$R$	$b_0+b_1 \cdot L^3+b_2 \cdot H^3+b_3 \cdot D+b_4/R^3$	0,70647059
Ель		
$D$	$b_0+b_1 \cdot L+b_2/H^2+b_3/D^2+b_4 \cdot R$	0,64547146
$H$	$b_0+b_1 \cdot L^3+b_2 \cdot D^3+b_3 \cdot H^3+b_4 \cdot R^3$	0,29501680
$R$	$b_0+b_1 \cdot L^3+b_2 \cdot H^3+b_3 \cdot D+b_4 \cdot R$	0,47691161
Пень		
$D$	$b_0+b_1 \cdot L^3$	0,42996012
$H$	$b_0+b_1 \cdot L^3$	0,10355181
$R$	$b_0+b_1 \cdot L^3$	0,06516926

Проделанная работа позволяет выявить основные направления для дальнейшего изучения и правильно организовать постановку эксперимента в дальнейшем по изучению вопроса влияния пространственной структуры на развитие смешанных и сложных древостоев.

Исследование влияния пространственной структуры на таксационные показатели древостоев и возможности формирования оптимальной пространственной структуры рубками ухода позволяет привести к максимизации прироста древостоев и получению максимальной прибыли от лесовыращивания.

**Заключение.** Основываясь на результатах данной работы, можно утверждать, что влияние пространственной структуры нужно учитывать для мероприятий по возобновлению древостоев: создания оптимальных схем смешения лесных культур, а следовательно, и оптимальных по густоте культур, что очень важно для дальнейшего роста и развития насаждения и его продуктивности, а также формирования лучших

по составу смешанных насаждений, что в свою очередь снизит отрицательное влияние конкурентных отношений между деревьями различных пород.

Также полученные данные можно использовать для планирования мероприятий по уходу. Формирование пространственной структуры может улучшить эффект проведения рубок ухода, так как даст возможность более правильно выбирать деревья для рубки, также это будет способствовать улучшению качества и количества получаемых сортиментов и формированию максимально продуктивных насаждений в более короткие сроки, а это является одним из главных аспектов в лесовыращивании и лесоводстве.

Следовательно, результаты данного исследования, как и материалы других исследователей, могут являться основой для дальнейшей разработки нового подхода к целевому лесовыращиванию и регламентированию рубок ухода.

### Список литературы

1. Вайс А. А. Горизонтальная структура нормальных сосновых насаждений левобережной и правобережной пригородной зоны г. Красноярск // Хвойные бореальной зоны. 2006. Вып. 3. С. 29–31.
2. Взаимоотношения древесных пород в чистых и смешанных насаждениях // Эколого-физиологические основы взаимодействия растений в фитоценозах / И. Н. Рахтеенко [и др.]. Минск: Наука и техника, 1976. С. 23–28.
3. Грибанов В. Я. Пространственная структура сосновых и лиственных деревьев // Продуктивность лесных фитоценозов: сб. ст. / отв. ред. И. Н. Елагин. Красноярск: ИЛИД, 1984. С. 42–47.
4. Мирошников В. С. Сосново-березовые насаждения БССР, их строение, лесоводственное и хозяйственное значение: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / БЛТИ. Минск, 1955. 14 с.
5. Романов В. С. Изучение сосново-березовых культур в лесах БССР: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. / Академия наук БССР; Ин-т социалистического сельского хозяйства. Минск, 1956. 18 с.
6. Сеннов С. Н. Итоги экспериментального изучения конкуренции в древостоях // Изв. С.-Петербургской лесотехнической академии. 1993. № 11. С. 160–172.
7. Коцан В. В. Взаимосвязи между таксационными показателями деревьев в кругах конкуренции на примере сосняков мшистых искусственного происхождения // Труды БГТУ. 2014. № 1: Лесное хоз-во. С. 19–22.
8. Коцан В. В. Классификация деревьев на основании пространственной структуры при назначении в рубки ухода // Труды БГТУ. 2015. № 1: Лесное хоз-во. С. 24–27.
9. Коцан В. В. Оценка влияния пространственной структуры на таксационные показатели древостоев с использованием цифровой модели пространственного распределения // Лесное хозяйство: тез. докл. 76-й науч.-техн. конф. проф.-препод. состава, науч. сотр. и асп., г. Минск, 13–20 фев. 2012 г. / Белорус. гос. технол. ун-т; редкол.: О. А. Атрощенко (гл. ред.) [и др.]. Минск, 2012. С. 13.
10. Севко О. А. Оценка зависимости текущего прироста сосновой части смешанных сосново-березовых древостоев от их пространственной структуры // Труды БГТУ. 2015. № 1: Лесное хоз-во. С. 41–45.
11. Усольцев В. А., Семьшев М. М. Продукционные характеристики с учетом конкуренции деревьев в искусственных и естественных сосняках: сравнительный анализ. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 137 с.
12. Севко О. А., Коцан В. В. Методика создания цифровой модели пространственного распределения деревьев по материалам постоянных пробных площадей с использованием ГИС-технологий // Труды БГТУ. 2011. № 1: Лесное хоз-во. С. 53–57.

### References

1. Vays A. A. The horizontal structure of normal pine plantations of the left-bank and right-bank suburban areas of the city of Krasnoyarsk. *Khvoynye boreal'noy zony* [Coniferous boreal zones], 2006, issue 3, pp. 29–31 (In Russian).



2. Rakhtenko I. N., Martinovich B. S., Kabashkikova G. I. [et al.] The relationship of tree species in clean and mixed stands. *Ekologo-fiziologicheskie osnovy vzaimodeystviya rasteniy v fitotsenozakh* [Ecological and physiological basis for the interaction of plants in phytocenoses]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1976. 216 p. (In Russian).

3. Gribanov V. Ya. The spatial structure of pine and deciduous trees. *Produktivnost' lesnykh fitotsenozov* [Productivity of forest phytocenoses]. Krasnoyarsk, ILID Publ., 1984, pp. 42–47 (In Russian).

4. Miroshnikov V. S. *Sosnovo-berezovye nasazhdeniya BSSR, ikh stroenie, lesovodstvennoe i khozyaystvennoe znachenie: avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk* [Pine-birch plantations of the BSSR, their structure, forestry and economic importance: abstract of thesis PhD (Agriculture)]. Minsk, 1955. 14 p.

5. Romanov V. S. *Izuchenie sosnovo-berezovykh kul'tur v lesakh BSSR: avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk* [The study of pine-birch crops in the forests of the BSSR: abstract of thesis PhD (Agriculture)]. Minsk, 1956. 18 p.

6. Sennov S. N. Results of an experimental study of competition in stands. *Izv. S.-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [News of St. Petersburg Forestry Engineering Academy], 1993, no. 11, pp. 160–172 (In Russian).

7. Kotsan V. V. The relationship between taxation indicators of trees in the circles of competition on the example of mossy pine forests of artificial origin. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2014, no. 1: Forestry, pp. 19–22 (In Russian).

8. Kotsan V. V. Classification of trees based on spatial structure when assigned to thinning. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 1: Forestry, pp. 24–27 (In Russian).

9. Kotsan V. V. Assessment of the influence of spatial structure on taxation indicators of stands using a digital model of spatial distribution. *Lesnoe khozyaystvo: tez. dokl. 76-y nauch.-tekhn. konf. prof.-prepod. sostava, nauch. sotr. i asp.* [Forestry: abstracts of the 76th scientific and technical conference of professors, researchers and graduate students], Minsk, 2012. P. 13 (In Russian).

10. Sevko O. A. Assessment of the dependence of the current growth of the pine part of mixed pine-birch stands on their spatial structure. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 1: Forestry, pp. 41–45 (In Russian).

11. Usol'tsev V. A., Semyshev M. M. *Produktsionnye kharakteristiki s uchetom konkurentsii derev'ev v iskusstvennykh i estestvennykh sosnyakakh: sravnitel'nyy analiz* [Productive characteristics taking into account the competition of trees in artificial and natural pine forests: a comparative analysis]. Ekaterinburg, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences Publ., 2007. 137 p.

12. Sevko O. A., Kotsan V. V. Technique for creating a digital model of the spatial distribution of trees based on materials of constant test plots using GIS technologies. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2011, no. 1: Forestry, pp. 53–57 (In Russian).

### Информация об авторах

**Севко Оксана Александровна** – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры лесоустройства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: o.sevko@belstu.by

**Коцан Владимир Васильевич** – кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель кафедры лесоустройства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: wolodia250@belstu.by

### Information about the authors

**Sevko Oksana Aleksandrovna** – PhD (Agriculture), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Forest Inventory. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: o.sevko@belstu.by

**Kotsan Vladimir Vasil'yevich** – PhD (Agriculture), Senior Lecturer, the Department of Forest Inventory. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: wolodia250@belstu.by

Поступила 31.03.2020