

БОТАНИКА

Научная статья

УДК 581.9: 630*232.1: 630*165

doi: 10.17072/1994-9952-2021-4-235-248

Пространственный анализ конкуренции и сотрудничества деревьев в культурах сосны

Михаил Владимирович Рогозин^{1, 2}

¹ Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия, rog-mikhail@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3206-9881>

² Пермский государственный аграрно-технологический университет, Пермь, Россия

Аннотация. В культурах сосны 1Б бонитета в возрасте 55 лет с текущей густотой 940–1620 шт./га и полнотой 0.84–1.02 на площади 1.9 га выбраны места с малой и средней густотой (5 пробных площадей, 433 дерева) для изучения влияния микроценозов на диаметры деревьев в их центре. Для этого в программе «ArcMap-ArcView» вокруг деревьев выстроили полигоны питания для возраста 30–40 лет и 41–55 лет. При пространственном анализе влияния деревьев использовали пять показателей: 1 – простое давление соседей: суммировали диаметры соседей по полигону; 2 – удельное давление соседей: показатель 1 делили на площадь питания центрального дерева; 3 – давление соседей с учетом расстояний до центрального дерева: диаметр соседа делили на расстояние до центрального дерева и суммировали данные; 4 – удельное давление соседей с учётом расстояний: показатель 3 делили на площадь питания центрального дерева; 5 – сотрудничество деревьев по сторонам полигона: диаметр соседа умножали на расстояние контакта с центральным деревом по стороне полигона и суммировали данные. Выбрать наилучший показатель не удалось, так как все пять оказались слабее, чем влияние простой площади питания. При использовании показателей площади питания в возрасте 30–40 лет, а затем в 41–55 лет, удельное давление соседей менялось по силе от 5.8 до 8.9%, составляя в среднем 7.4%, а при учёте расстояний до соседей это давление увеличилось в среднем до 8.5%. При средней густоте сила сотрудничества деревьев была равна 11.6%, а при малой густоте – 7.5%, составляя в среднем 9.6%. Таким образом, сотрудничество деревьев в микроценозе оказалось в 1.13 раз сильнее, чем конкурентное давление деревьев-соседей.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, древостой, микроценозы, конкуренция, сотрудничество

Для цитирования: Рогозин М. В. Пространственный анализ конкуренции и сотрудничества деревьев в культурах сосны // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2021. Вып. 4. С. 235–248. <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2021-4-235-248>.

BOTANY

Original article

Spatial analysis of competition and cooperation of trees in pine forest crops

Mikhail V. Rogozin^{1, 2}

¹ Perm State University, Perm, Russia, rog-mikhail@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3206-9881>

² Perm State Agrarian and Technological University, Perm, Russia

Abstract. In forest cultures of scots pine 1 in bonita at the age of 55 years with a standing density of 940–1620 pcs./ha with a fullness of 0.84–1.02 on an area of 1.9 ha, places with low and medium density (5 sample areas, 433 trees) were selected to study the influence of microcenoses on the diameters of trees in their center. To do this, in the "ArcMap-ArcView" program, food polygons for the age of 30–40 years and 41–55 years were built around the trees. Five indicators were used in the spatial analysis of the data: 1 - simple pressure of neighbors: the diameters of the neighbors on the polygon were summed up; 2 - specific pressure of neighbors: indicator 1 was divided by the feeding area of the central tree; 3 - pressure of neighbors taking into account the distances to the central tree: the diameter of the neighbor was divided by the distance to the central tree and the data were summed; 4 - specific pressure of neighbors taking into account the distances: indicator 3 was divided by the feeding area of the central tree; 5 - cooperation of trees on the sides of the polygon: the diameter of the neighbor was multiplied by the contact distance with the central tree on the side of the polygon and the data were summed.

It was not possible to choose the best indicator, since all five were weaker than the influence of a simple power supply area. When using the feeding area at the age of 30-40 years, and then at 41-55 years, the specific pressure of neighbors varied in strength from 5.8 to 8.9%, averaging 7.4%, and when taking into account the distances to neighbors, this pressure increased to an average of 8.5%. At an average density, the strength of the trees' cooperation was equal to 11.6%, and at a low density of 7.5%, averaging 9.6%. Thus, the cooperation of trees in the microcenosis was generally 1.13 times stronger than the competitive pressure of neighboring trees.

Keywords: common pine, tree stand, microcenoses, competition, cooperation

For citation: Rogozin M. V. [Spatial analysis of competition and cooperation of trees in pine forest crops]. *Bulletin of Perm University. Biology*. Iss. 4 (2021): pp. 235-248. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2021-4-235-248>.

Введение

Разработка моделей структуры и развития древостоев на основе закона естественного изреживания [Морозов, 1931] в настоящее время сопровождается множеством логических дополнений [Гавриков, 2013; Грабарник, Секретенко, 2015], сложными расчетами площадей питания [Усольцев, 2013] с предположением конкуренции деревьев за свет и минеральное питание [Гавриков, 2013; Колобов, 2014]. Однако в таких физико-математических моделях до сих пор совершенно не принимается во внимание действие кооперации живых организмов в освоении ресурсов питания [Кропоткин, 1922; Горячев, 1999; Демаков, 2007; Усольцев и др., 2018] и отсутствуют точные данные о механизмах действия собственно самой конкуренции как фактора. Подразумевается, что её действие сильное, в подтверждениях не нуждается, и эта идеологема обязательно присутствует в учебниках. Однако в ряде работ [Усольцев, 2013; Рогозин, 2019] влияние конкуренции деревьев в микроценозах на их продукционные показатели колебалось в пределах всего лишь 0.2–11.0%. Такое слабое влияние уже никак не может быть основанием для использования конкуренции в качестве главного фактора при моделировании структуры и моделей ухода за лесными насаждениями [Рогозин, 2021a].

В нашей предыдущей работе в этих же культурах сосны [Рогозин, 2021b] анализ роста 1 623 центральных деревьев в окружении 4–8 деревьев-соседей показал, что корреляция между площадью питания и диаметром ствола дерева в густых местах культур была всего лишь $r = 0.19 \pm 0.03$, тогда как в местах с меньшей густотой она возросла до $r = 0.32 \pm 0.03$. Поэтому появилась надежда, что при использовании ряда дополнительных показателей можно увеличить их влияние и далее использовать эти показатели при моделировании пространственной структуры насаждений и при уходе за лесом.

В качестве рабочей гипотезы выдвинули предположение, что в зависимости от флуктуаций текущей густоты меняются пространственные взаимодействия деревьев, что приводит к различиям в конкурентных и партнерских отношениях.

Цель исследования: в средних и наименьших по густоте местах древостоя культур рассчитать показатели конкуренции и сотрудничества деревьев в микроценозах разными способами и выбрать лучший из них по силе влияния на дерево в центре.

Материал и методы

Для исследований выбрали фрагмент участка культур, изученных ранее [Рогозин, 2021a, б]. Культуры созданы на раскорчеванной вырубке посадкой в 1967 г. на общей площади 3.3 га в кв. 43 Нижне-Курьинского участкового лесничества Пермского городского лесничества. Схема посадки варьировала в ряду от 1.0 до 1.35 м, а между рядами от 1.7 до 2.0 м при густоте посадки 5.0 тыс. шт./га. После нумерации деревьев на подготовленных с подрумяниванием коры стволах, на высоте 1.3 м определяли их окружности и далее рассчитывали диаметры с точностью ± 0.1 см. Деревья наносили на абрис и составляли карту их размещения в программе «ArcMap-ArcView». Точность нанесения деревьев на план относительно проложенных визиров по прямоугольным относительным координатам составляла ± 10 –15 см, а для рядом растущих деревьев расстояние между ними обязательно уточняли с целью достижения точности измерения расстояния в ± 3 –5 см. Затем на готовом плане на площади 1.9 га выделили 24 пробных площади (ПП). Таксационные показатели на них колебались в следующих пределах: густота 940–1620 шт./га, средний диаметр 18.4–23.1 см, средняя высота 25.7–28.1 м, полнота 0.84–1.02, запас древесины 490–590 м³/га [Рогозин, 2021б].

Для расчетов пространственных взаимодействий деревьев выбрали два места в культурах: со средней и с наименьшей (далее «малой») текущей густотой (табл. 1).

По числу деревьев эти две группы пробных площадей приближаются к полноценным лесостроительным пробным площадям [ГОСТ 16128-70]. Таксационные показатели при малой густоте были выше по среднему диаметру на 3.7% и по высоте – на 2.4%, но высота в господствующей части была ниже на

2.0%; относительная полнота и запас были меньше, соответственно, на 9.1 и 8.8%. Если знать о действии закона развития древостоев Г.С. Разина [Разин, 1979; Рогозин, 2019], то отставание полноты при малой густоте объяснимо и говорит о том, что древостои с этой густотой до сих пор находятся на траектории восходящего развития, в фазе прогресса, в отличие от древостоев на ПП 21 и 23, где они уже достигли пика полноты, и далее в них наступила фаза регресса.

Таблица 1

Таксационные показатели 55-летних культур сосны в местах со средней и с малой текущей густотой в группах из некоторых пробных площадей (ПП)

[Taxation indicators of 55-year-old pine crops in places with medium and low current density in groups from some sample areas (ПП)]

Таксационный показатель	Единица измерения	Группа пробных площадей по густоте		Соотношение показателей: группа 2 / группа 1, %
		1. Средняя (ПП 21, 23)	2. Малая (ПП 7, 8, 10)	
Занимаемая площадь	га	0.154	0.227	–
Число живых деревьев	шт.	191	242	–
Текущая густота	шт./ га	1250	1010	80.8
Средний диаметр	см	21.6	22.4	103.7
Средняя высота	м	27.5	28.0	102.4
Высота в господствующей части древостоя	м	29.1	28.5	98.0
Абсолютная полнота	м ² / га	45.5	41,4	91.0
Относительная полнота	доли единицы	0.99	0.90	90.9
Запас древесины	м ³ / га	580	520	91.2
Число отпавших деревьев	шт./ га	450	255	56.7
Всего деревьев	шт./ га	1700	1265	74.4
Отпавшие деревья	%	26.4	20.1	76.1

Примечание. – – отношение показателей не рассчитывали.

Методика выстраивания полигонов питания включала несколько операций. Вначале все деревья соединяли отрезками линий. Далее на каждой находили её середину (при выделении линии программа «ArcMap-ArcView» указывает её крестиком). Затем вокруг живых деревьев через центры линий проводили перпендикуляры и соединяли их с образованием замкнутого контура, используя шейп файл «полигон». Точно выстроить их получалось только при наличии соседних полигонов, и они корректировались несколько раз по мере заполнения карты. Для отпавших деревьев полигоны не окрашивали. Первыми выстраивали полигоны для возраста 30–40 лет, затем поверх них накладывали полигон для настоящего времени, для возраста примерно 41–55 лет, распределяя территорию, освободившуюся вокруг следов старых пней (рис. 1).

На общей карте выбранные пробные площади находятся в северо-восточной (ПП 21, 23) и в юго-западной (ПП 7, 8, 10) части участка культур (рис. 2).

Сразу отметим, что отсутствие строгой схемы посадки культур, неодинаковое расстояние между рядами, их криволинейность и наличие пропусков при посадке в виде небольших окон, получавшихся из-за складирования порубочных остатков, приближали структуру древостоя культур к структуре естественного насаждения.

Конкурентное давление соседей в самом простом варианте можно рассчитать в виде суммы их диаметров, которую надо разделить на площадь питания дерева в центре полигона. При этом будет получено некое «давление» конкуренции с единицей измерения см/м². Способ можно усложнить и диаметр ствола у каждого соседа разделить на расстояние до дерева в центре и затем суммировать эти показатели от всех соседей. Далее возможны и другие расчёты. Например, можно умножить диаметр соседа на ширину его «контакта» с деревом в центре, равную длине соответствующей стороны полигона, и суммировать их от всех соседей. Разумеется, такой «контакт» – величина достаточно условная; но этот показатель пространственных взаимодействий доступен для расчетов, и подобные показатели в числе 8 способов измерения конкуренции между деревьями использовал В.А. Усольцев [2013], изучая 20 насаждений сосны в молодняках и в культурах и выбирая в каждом по 10 модельных деревьев. При анализе данных автор не объединял выборки, состоящие всего лишь из 10 значений, и поэтому в итоге определить лучший способ не удалось; не удалось выбрать лучший способ оценки конкуренции и по литературным данным после обзора множества работ [Усольцев и др., 2018].

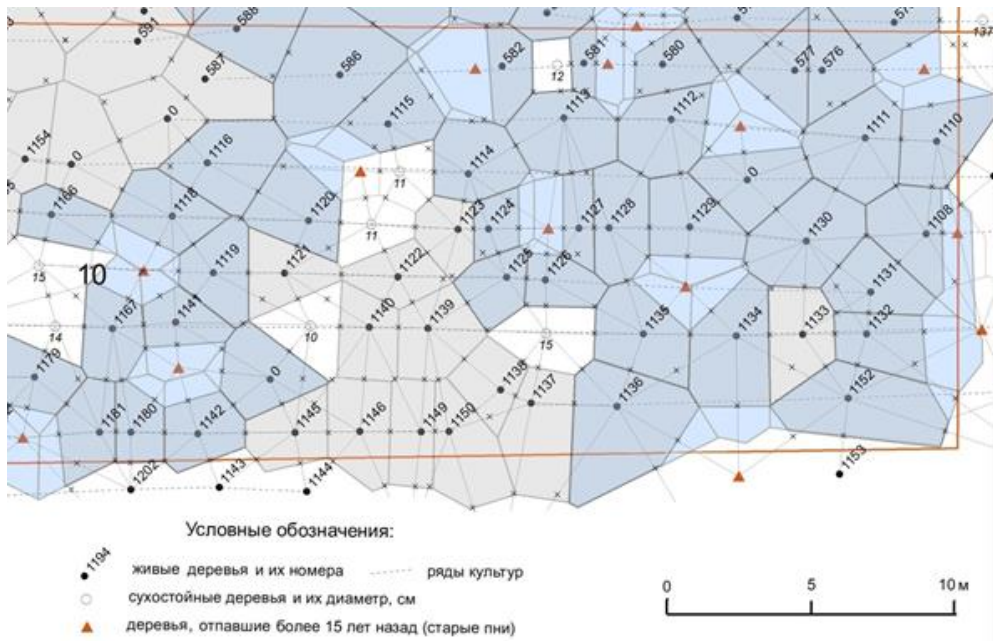


Рис. 1. Выстраивание полигонов питания деревьев для возраста 30–40 лет (серый тон) и для возраста 41–55 лет (более темный фон)

[Building tree feeding polygons for the age of 30–40 years (gray tone) and for the age of 41–55 years (darker background)]

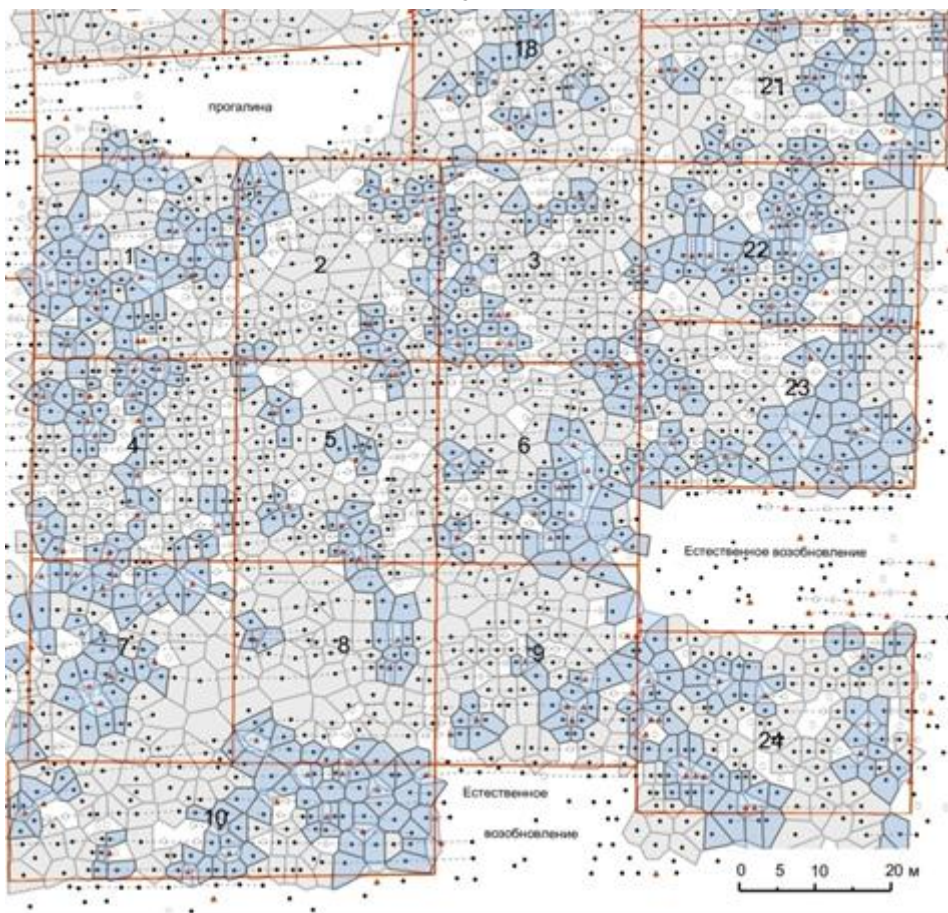


Рис. 2. Фрагмент общей карты с полигонами питания деревьев. Обозначения на рис. 1

[A fragment of a general map with tree feeding polygons. Notation in Fig. 1]

Поэтому мы сразу ориентировались на выборки большого объема, так как современные методы компьютерного анализа позволяют их обрабатывать достаточно быстро. Пример расчета показателей суммарного «давления» и «контакта» соседей с деревом в центре полигона питания показаны ниже (рис. 3).



Рис. 3. Полигон питания дерева № 79.

Показана часть расстояний и контактов по сторонам полигона для пяти соседей. По источнику: [Рогозин, 2021a]

[Tree feeding polygon No. 79.

A part of the distances and contacts on the sides of the polygon for five neighbors is shown. According to the source: [Rogozin, 2021a]]

Здесь дерево № 79 окружают восемь соседей. Покажем для пяти из них диаметр ствола, расстояние до дерева в центре и ширину «контакта» с ним:

№ 78 – 13.8 см, расстояние 3.50 м, контакт 1.43 м;

№ 56 – 17.4 см, расстояние 2.93 м, контакт 0.41 м;

№ 55 – 17.6 см, расстояние 1.62 м, контакт 2.30 м;

№ 54 – 24.5 см, расстояние 2.51 м, контакт 1.94 м;

№ 80 – 18.8 см, расстояние 3.88 м, контакт 0.49 м.

В результате по этим данным можно рассчитать целый ряд показателей пространственного взаимодействия, о которых пойдёт речь при анализе результатов.

Заметим, что массовые измерения расстояний до соседей без их пропусков возможны только при наличии их полигонов рядом, где виден каждый их «контакт» с деревом в центре. После многодневных тренировок и формирования навыка, затраты времени на выстраивание одного полигона в программе «ArcMap-ArcView» определились примерно в 5–8 мин.; при этом однообразие операций сильно утомляло и позволяло продуктивно работать без ошибок примерно 3–4 ч. в день. Поэтому их выстраивание для 100 деревьев занимало 2–3 рабочих дня. Еще несколько дней требовалось на выборку диаметров для 600 шт. соседей, определения их расстояний до дерева в центре, расчеты показателей пространственного взаимодействия деревьев и построение диаграмм связи. При статистической обработке результатов использовали принятые в лесоведении процедуры [Чернов, Соловьев, Нагимов, 2012; Демаков, 2018; Рогозин, 2019]. В описании результатов термин «диаметр ствола дерева» сокращали до слов «диаметр дерева», так как измерения диаметра проводили только у стволов.

Результаты

На ПП 7, 8 и 10 при относительно малой текущей густоте культур вокруг центральных деревьев с учётом сухостойных особей число соседей колебалось от 4 до 9; при этом в 96% случаев их было 4–7 шт. В ряду распределении площадей питания модальными были классы 5, 6 и 7 м² при средней площади питания 8.03 м² (рис. 4).

Так как распределение площадей питания имеет левую асимметрию, то в таких случаях для приближения подобных рядов к нормальному распределению частот используют преобразование данных с извлечением корней второй или третьей степени и логарифмирование [Гриффитс, 1971]. Для нашего случая логично использовать извлечение квадратного корня из площади. В результате получили ряд распределения частот, близкий к нормальному. Значения в этом ряду вполне конкретные и представляют собой сторону квадрата, имеющего ту же площадь, что и полигон питания. В реальности квадратных полигонов почти не бывает, но нам нужна лишь средняя величина в ряду их распределения для того, чтобы найти,

как ориентир, некоторое идеальное и поэтому условное среднее расстояние между деревьями. В этом преобразованном ряду частот оно равно 2.76 м. Близкая величина (2.83 м) получается при прямом извлечении квадратного корня из средней площади питания, равной 8.03 м². Усреднение их даёт нам условное расстояние 2.80 м в случае расположения всех деревьев по квадратам, обладающим средней площадью питания.

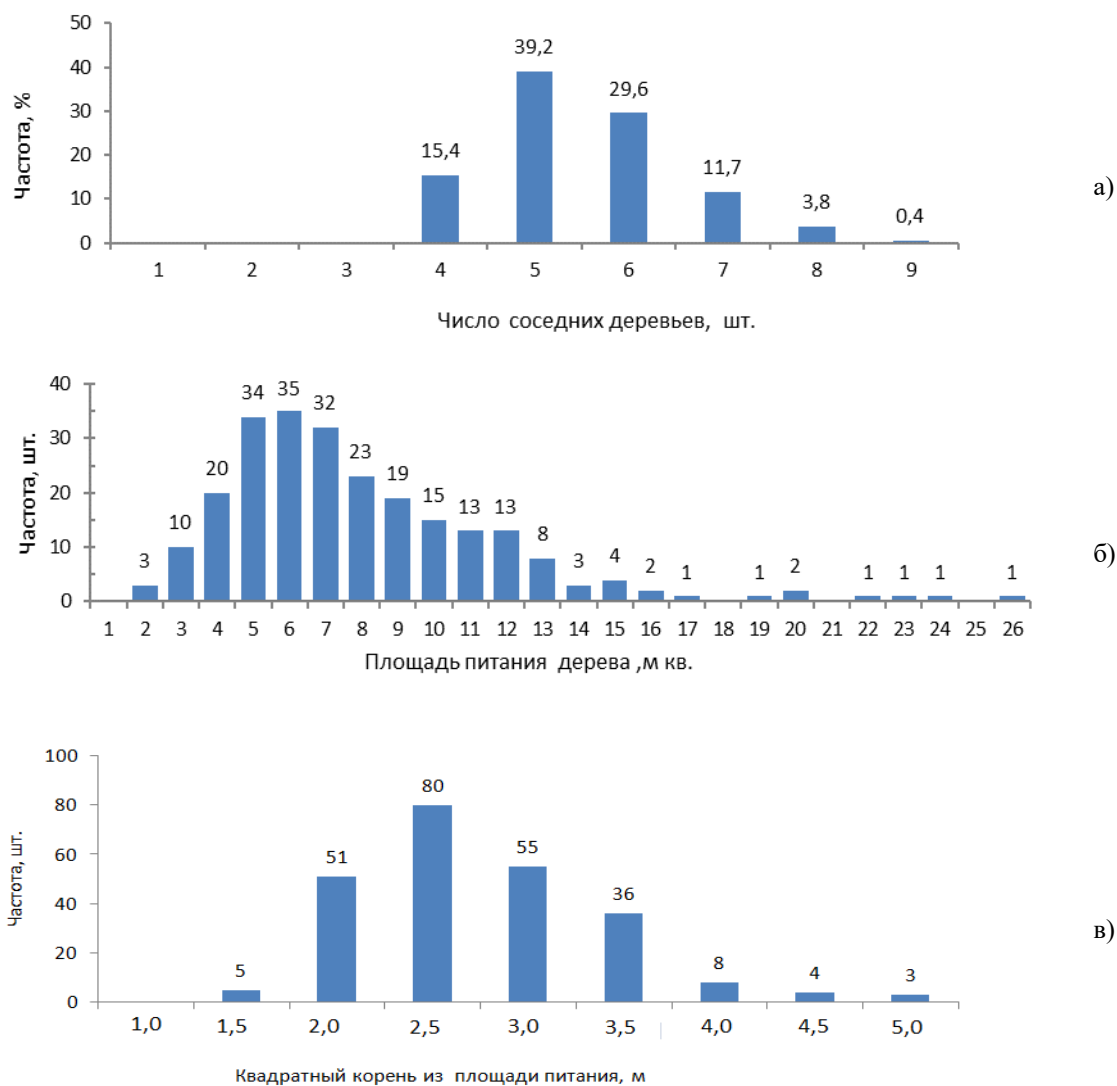


Рис. 4. Число живых и сухостойных соседей вокруг полигонов питания (а), ряд распределения площадей питания (б) и преобразование этого ряда извлечением квадратного корня из площади питания (в)

[The number of living and dry neighbors around the food polygons (a), the number of distribution of food areas (б) and the transformation of this series by extracting the square root from the food area (в)]

Все эти расчеты преследуют цель обосновать критерий для выделения скоплений деревьев в виде биогрупп; описанный подход вполне объективен для такой цели и, например, в спелом древостое сосны был использован для градуировки взаимодействия между деревьями [Рогозин, 2019, с. 56]. Там для выделения биогрупп мы использовали $\frac{1}{2}$ такого условного расстояния. Здесь же для выделения биогрупп оно составит $2.80 / 2 = 1.40$ м; ожидается, что биогруппы будут в основном среди сохранившихся пар деревьев в рядах культур, где шаг при посадке сеянцев колебался от 1.00 до 1.35 м.

Изучение биогрупп мы проведем в других работах, а в данном исследовании начнем анализ полигонов питания на ПП 7, 8 и 10, т.е. в местах с малой густотой. Чем больше площадь полигона питания, тем шире круг соседей, и увеличение площади полигона увеличивает число соседей с силой 18.8%; в свою очередь, возросшее число соседей повышает их давление на дерево в центре. Для измерения этого давления возьмём вначале самый простой показатель – сумму диаметров соседей ($\Sigma Д$) с названием «простое давление соседей». После расчётов он неожиданно повлиял на диаметр дерева в центре положительно,

хотя и довольно слабо, с корреляцией $r = 0.169 \pm 0.063$ и аппроксимацией линейного тренда $R^2 = 0.028$. Далее показатель ΣD разделили на первую (в возрасте 30–40 лет) площадь питания дерева и получили показатель с названием «удельное давление соседей». Он повлиял на диаметр дерева с корреляцией $r = -0.245 \pm 0.063$ и аппроксимацией тренда $R^2 = 0.060$. И здесь важным оказалось то, что это действительно конкурентное давление соседей, и оно снижало диаметр дерева в центре полигона с силой 6.0% (рис. 5).

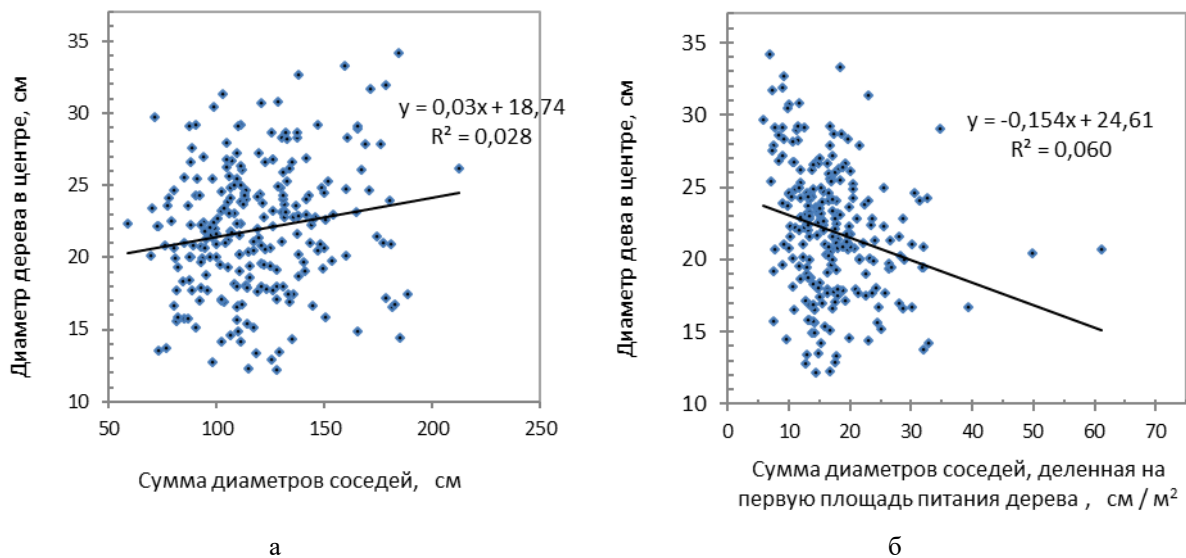


Рис. 5. Влияние простого (а) и удельного давления суммы диаметров соседей (б) на диаметр дерева в центре полигона питания

[The effect of simple (а) and specific pressure of the sum of the diameters of neighbors (б) on the diameter of the tree in the center of the feeding polygon]

Найденные связи слабые, но достоверные, благодаря большим выборкам. Особенно интересна первая – она указывает на тенденцию увеличения диаметра у дерева при увеличении диаметров соседей, при силе влияния по линейному тренду 2.8%, то есть деревья в микроценозе согласованно увеличивают или снижают диаметры стволов. Этот экспериментальный факт может свидетельствовать о том, что на микроценоз, образованный центральным деревом и его соседями, воздействует некий другой фактор, и ранее мы назвали его «фактором места» [Рогозин, 2019]. В результате деревья в центре полигонов очень слабо, но всё же достоверно, связаны с диаметрами окружающих деревьев. Важно её принципиальное совпадение с подобным влиянием в другом насаждении – в сосняке в возрасте 184 года, где оно простиралось до расстояния 450 см. В этом сосняке, в одном из вариантов пространственного анализа, мы рассчитывали корреляцию диаметров соседствующих деревьев, ранжируя в парах первым крупное, а вторым – дерево поменьше. В результате корреляция между их диаметрами в парах на расстояниях 84–450 см удерживалась практически на одном уровне и в среднем была равна $r = 0.52 \pm 0.04$, а затем на расстояниях далее 450 см резко снижалась до $r = 0.27 \pm 0.10$ [Рогозин, 2019, с 97]. Подобные сведения весьма необычны, получены впервые и пока единственные в своём роде. Поэтому в перспективе интересно будет выяснить, как же взаимодействуют деревья-соседи в более молодом возрасте, в период максимального прироста и полноты, который приходится на возраст 30–60 лет.

Так как показатели с простой суммацией диаметров оказались незначительными по силе, то далее для каждого соседа рассчитали его индивидуальное давление на дерево в центре. Смысл этой операции проистекал из предположения, что чем больше расстояние между деревьями, тем слабее их давление. Показатель рассчитывали как D / L , где D – диаметр в сантиметрах и L – расстояние в метрах до дерева в центре. Такие отношения от всех соседей суммировали и назвали показатель «давление соседей по расстояниям». В результате расчётов его действие оказалось примерно такой же силы, что и у двух предыдущих, при $r = -0.205 \pm 0.062$ и аппроксимации $R^2 = 0.042$.

Затем этот показатель, как и предыдущий, разделили на первую (в возрасте 30–40 лет) площадь питания дерева и получили новый показатель с названием «удельное давление соседей с учётом расстояний до дерева в центре», с давлением на единицу площади питания. Теснота связи здесь возросла до $r = -0.274 \pm 0.060$ при аппроксимации $R^2 = 0.075$ (рис. 6).

Доказать достоверность полученных повышений связи даже на выборке из 240 деревьев не удалось; но это и не столь важно, так как и первые, и вторые влияния всё равно слабые. Дополнительные расчёты этих корреляций, с усилением той или иной части показателя давления (использование площадей сечения вместо диаметров и возведение в квадрат расстояний до дерева в центре) не повысили их значений;

теснота связей там была ниже и составила для площади сечения $r = -0.102 \pm 0.064$ и для квадратов их расстояний до дерева в центре $r = 0.185 \pm 0.062$.

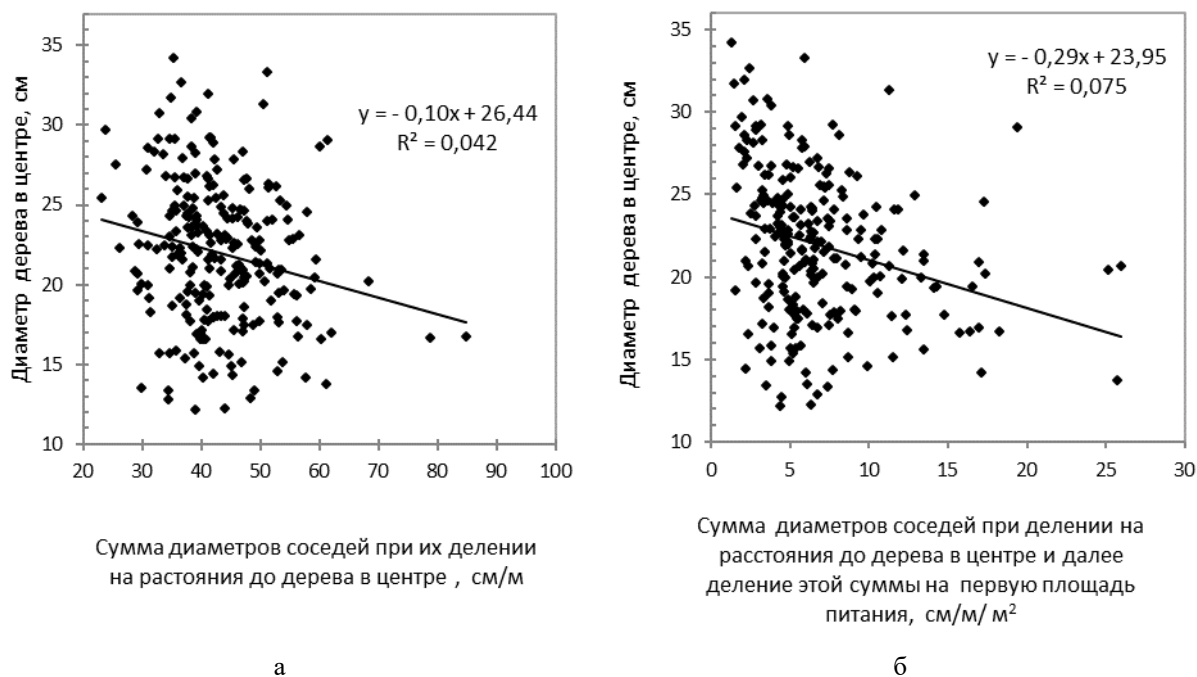


Рис. 6. Простое давление соседей с учётом расстояний до дерева в центре (а) и удельное давление соседей с учётом расстояний до дерева в центре при делении на площадь полигона питания (б) и их связь с диаметром дерева в центре полигона

[The simple pressure of neighbors taking into account the distances to the tree in the center (a) and the specific pressure of neighbors taking into account the distances to the tree in the center when divided by the area of the feeding polygon (b) and their relationship with the diameter of the tree in the center of the polygon]

Следующим был вопрос, относящийся к ещё более сложным влияниям деревьев. Тем не менее, мы рассмотрели его с позиций простых пространственных измерений. Пытаясь найти показатели, отражающие взаимодействие соседствующих деревьев, мы остановились на идее о том, что стороны полигона питания имеют разную длину, и их можно представить как зоны «контакта» дерева в центре полигона с его соседями, которые были показаны выше при описании методики расчетов на рис. 3. Если суммировать контакты с их умножением на диаметр каждого соседа, то этот показатель можно назвать «взаимодействие по сторонам полигона питания». Причём мы использовали полигоны, очерчивающие вторую площадь питания в возрасте 41–55 лет, так как важно актуальное взаимодействие.

Выше мы проанализировали результаты, полученные на ПП 7, 8 и 10 с малой текущей густотой. Но первоначально в предшествующей работе [Рогозин, 2021б] мы начали проводить подобный анализ в местах со средней текущей густотой, на ПП 21 и 23. Поэтому далее возьмем из этой работы интересующий нас результат и поместим рядом две диаграммы, показывающие влияние показателя взаимодействия деревьев по сторонам полигона с деревом в центре при разной текущей густоте культур (рис. 7).

При средней густоте влияние взаимодействия деревьев по сторонам полигона равно $r = 0.341 \pm 0.057$ при аппроксимации $R^2 = 0.116$, а при малой густоте оно коррелирует с диаметром дерева в центре несколько ниже при $r = 0.273 \pm 0.060$ и аппроксимация $R^2 = 0.075$. По-видимому, эта связь между деревьями в микроценозе, измеряемая умножением диаметра соседа на ширину контакта по стороне полигона питания, является их положительным взаимодействием, которое можно определить как сотрудничество.

Итак, при обсуждении всего полученного выше комплекса данных можно констатировать, что они отражают взаимные влияния деревьев внутри микроценозов, границы которых очерчивают 4–7 соседей, окружающих центральное дерево. Все результаты, полученные в группе древостоев с малой густотой и показанные выше, мы сравнили далее с результатами при средней густоте древостоя (табл. 2).

Всего было рассчитано пять показателей влияния деревьев, из которых два повторялись для первой (в возрасте 30–40 лет) и для второй площади питания (в возрасте 41–55 лет). Они имели следующие особенности.

Показатель 1. «Простое давление соседей». Сумма диаметров соседей положительно, достоверно, но очень слабо влияет на диаметр центрального дерева. Сила влияния 1.9 и 2.8% (в среднем 2.4%). Эта тен-

денция сопряженного изменения размеров деревьев свидетельствует о действии локальных абиотических факторов, которое можно назвать «фактором места».

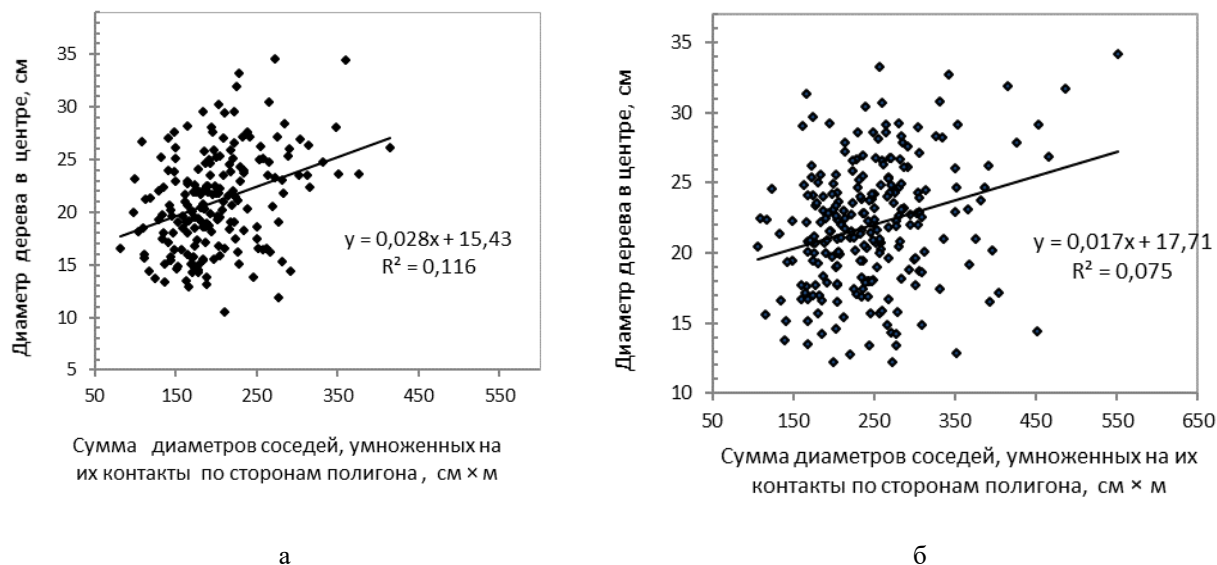


Рис. 7. Влияние взаимодействия соседей по сторонам полигона питания с деревом в центре при средней (а) и малой (б) текущей густоте культур

[The effect of the interaction of neighbors on the sides of the food polygon with a tree in the center at medium (a) and low (б) current crop density]

Таблица 2

Влияние деревьев-соседей и площади питания на диаметр дерева в центре микроценоза. Приведены корреляция (r) и сила влияния по линейному тренду (R²)

[The influence of neighboring trees and the feeding area on the diameter of the tree in the center of the microcensus. The correlation (r) and the strength of influence on the linear trend (R²) are given]

Показатель взаимодействия деревьев в микроценозе	Порядок расчётов	Единицы измерения	Средняя густота: ПП 21, 23 (190 полигонов)		Малая густота: ПП 7, 8, 10 (242 полигона)		Средняя сила влияния R ² , %
			r	R ² , %	r	R ² , %	
Влияние соседей на дерево в центре полигона питания							
1. Простое давление соседей	Суммируем диаметры у соседей по полигону	см	0.139	1.9	0.169	2.8	2.4
2. Удельное давление соседей: а) на первую площадь питания; б) на вторую площадь питания	Показатель 1 делим: а) на первую площадь питания; б) на вторую площадь питания	см/м ²	-0.236; -0.319	5.6; 10.1	-0.245; -0.278	6.0; 7.7	5.8; 8.9 (7.4)
3. Давление соседей с учётом расстояний до дерева в центре	Диаметр соседа делим на расстояние до дерева в центре. Суммируем данные	см / м	-0.128*	1.6	-0.205	4.2	2.9
4. Удельное давление соседей с учётом расстояний до дерева в центре: а) деление на первую площадь питания; б) деление на вторую площадь питания	Показатель 3 делим: а) на первую площадь питания; б) на вторую площадь питания.	см / м / м ²	-0.284; -0.318	8.1; 10.1	-0.274; -0.288	7.5; 8.3	7.8; 9.2 (8.5)
5. Сотрудничество деревьев по сторонам полигона второй площади питания	Диаметр соседа умножаем на его контакт по стороне полигона. Суммируем данные	см×м	0.341	11.6	0.273	7.5	9.6

Показатель взаимодействия деревьев в микроценозе	Порядок расчётов	Единицы измерения	Средняя густота: ПП 21, 23 (190 полигонов)		Малая густота: ПП 7, 8, 10 (242 полигона)		Средняя сила влияния R ² , %
			r	R ² , %	r	R ² , %	
Влияние площади питания на диаметр дерева в центре полигона питания							
Первая площадь питания (до возраста 30–40 лет)	Через центры расстояний между деревом в центре и его соседями, включая отпавшие деревья	м ²	0.331	11.0	0.358	12.8	11.9
Вторая площадь питания (в возрасте 41–55 лет)	Тот же порядок, но остатки старых пней не учитывались	м ²	0.361	13.0	0.359	12.9	13.0

Примечание. * – корреляция недостоверна при $t_{\text{факт}} < t_{0.95} = 2.0$; в скобках указаны средние значения.

Показатель 2. «Удельное давление соседей». Собственно, это и есть конкурентное давление соседей на дерево в центре микроценоза. Влияет на диаметр дерева отрицательно и почти одинаково как в средних, так и в малых по густоте местах древостоя. Для первой площади питания в 30–40 лет сила влияния в среднем 5.8%, для второй площади питания в 41–55 лет она повышается до 8.9%.

Показатель 3. «Давление соседей с учётом расстояний до дерева в центре». Для него не обязательно выстраивать полигоны питания. Суммирование диаметров соседей после их деления на расстояние до дерева в центре показывает давление конкуренции на центральное дерево с силой в среднем 2.9%. Полученная величина характеризует этот фитоценотический фактор как очень слабый и даже недостоверный при средней густоте древостоя; его предельная слабость дезавуирует все наши старые априорные представления о «сильной» конкуренции между соседствующими деревьями. Подобные результаты о слабости конкуренции в биогруппах, причём с применением нескольких и более сложных способов подбора и анализа данных, были получены нами в 184-летнем сосняке в идентичных лесорастительных условиях [Рогозин, 2019].

Показатель 4. «Удельное давление соседей с учётом расстояний до дерева в центре» с делением на первую и затем на вторую площадь питания. В сравнении с показателем 3 теснота связи возрастает, особенно в средних по густоте местах, где различия между корреляциями $r = -0.128 \pm 0.071$ и $r = -0.318 \pm 0.058$ были достоверны при $t = 2.07 > t_{0.95} = 1.98$. Однако при малой густоте увеличение тесноты связи доказать не удалось, о чём уже говорилось выше.

Показатель 5. «Взаимодействие с соседями по сторонам полигона второй площади питания». По биологическому смыслу контакты соседей по сторонам полигона с центральным деревом отражают уже не конкурентное давление, а сотрудничество деревьев, так как при увеличении ширины контакта и диаметров соседей возрастает и его результат: диаметр дерева в центре при средней густоте увеличивается с силой 11.6%, а при малой густоте – с силой 7.5%. Объяснить это явление можно следующими соображениями. Либо каким-то образом деревья «помогают» в росте друг другу, например, срастанием корней [Демаков, 2007; Колтунова, 2013; Санников, Санникова, 2014; Шанин, 2015], либо в насаждении есть благоприятные места (где деревья согласованно увеличивают свои размеры) и неблагоприятные (где деревья также согласованно уменьшают свои размеры). Это явление уже проявило себя здесь как действие «фактора места» в *показателе 1* (простой сумме диаметров соседей), который повлиял на дерево в центре с силой в среднем 2.4%. Показатель контактного взаимодействия деревьев вполне может количественно отражать помощь деревьев друг другу, то есть взаимодействие с соседями по сторонам полигона для дерева в центре будет отражать не конкуренцию с ними, а сотрудничество в освоении ресурсов питания в этой группе деревьев. Как следствие обнаруженного явления, его применение открывает интереснейшие перспективы найти в биотопе места с «хорошей» и «плохой» кооперацией деревьев. Показатель меняется с вариацией 29%, и различия в 3–5 раз достаточны для нахождения таких контрастных мест и микроценозов. В среднем этот показатель сотрудничества деревьев имеет силу влияния 9.6%, и это выше, чем удельное давление конкуренции соседей, рассчитанное двумя способами.

Обсуждение результатов

В таблице 2 влияния факторов более 10% выделены жирным шрифтом, и среди них только площадь питания дерева превышает этот рубеж. При этом её влияние почти одинаково как по первой (до возраста 30–40 лет), так и по второй площади питания (в возрасте 41–55 лет), которую выстраивали без учёта следов старых пней. Ранее [Рогозин, 2021б] мы уже рассматривали «первую» и «вторую» площади питания в густых местах этих культур и там выяснилось, что, несмотря на расширение второй площади питания в

среднем на 24% и её действие в течение последних 15–20 лет, это никак не увеличило силу её влияния на диаметр центрального дерева. Эти выводы, как аргументы, буквально уничтожают одно из положений теории естественного изреживания о том, что оно якобы улучшает рост у остающихся деревьев, получающих дополнительную площадь питания после её освобождения отпавшими деревьями. Здесь, в этих культурах, как это ни странно звучит, рост дерева в возрасте 40–55 лет уже почти не зависит от увеличения его площади питания за последние два десятилетия, что следует из мало изменившейся силы влияния второй площади питания (13.0%) по сравнению с влиянием первой площади питания (11.9%), которая была у дерева ранее в возрасте 30–40 лет. Разумеется, эти различия в силе влияния на 1.1% статистически недостоверны. В предыдущей работе [Рогозин, 2021б] мы использовали и более сложные подходы к анализу площадей питания в данных культурах, с выборками из многих сотен деревьев с неизменной и с изменившейся в результате отпада соседей площадью питания, которые также показали недостоверность подобных различий.

Все показанные в табл. 2 корреляции достоверны, кроме одной, следовательно, будут значимы и силы их связей. При этом важно понимать, что если показатель не включает в себя данные по площади питания, то это будет его «чистое» влияние и оно есть в показателе 1. Здесь простое давление суммы диаметров положительно влияет на диаметр дерева в центре и равно по силе в среднем 2.4%. Но когда к нему добавляют действие площади питания, разделив на неё показатель 1 и получая показатель 2, то его сила, меняя знак связи, возрастает до 5.8% при делении на первую и до 8.9% – при делении на вторую площадь питания. Однако оба этих значения меньше, чем просто сила влияния площади питания, а это значит, что в составе показателя 2 влияние площади питания ослабляется. При этом, если сложить влияние показателей 1 и 2, действующих в разных по знаку направлениях, то получим их совместное влияние для первой площади питания $2.4 + 5.8 = 8.2\%$ и для второй $2.4 + 8.9 = 11.3\%$. Последнее значение уже близко к силе влияния самой площади питания, равное 13.0%. Эти логические выкладки в расчётах (которые нельзя, по большому счёту, отнести к статистическому анализу) можно применить и для более сложных показателей 3 и 4, которые в итоге оказались меньше по силе, чем простое влияние площади питания в её двух состояниях (см. табл. 2).

Смысл обнаруженных ослаблений влияния площади питания можно понять, если сравнить действие показателей 5 и 2. У показателя 5 «сотрудничество деревьев по сторонам полигона» при средней густоте сила его действия 11.6% приближается к силе действия площади питания (13.0%). Это значит, что умножение диаметров соседей на их контакт по стороне полигона мало ослабило их влияние в сравнении с влиянием самой площади питания. Но при малой густоте возросли диаметры соседей и их положительное воздействие на дерево в центре, отмеченное в показателе 1, также усилилось. Поэтому и действие показателя 5 снизилось до 7.5%. Сходное ослабление связи есть и в показателе 2 (с 10.1 до 7.7%). Различия недостоверны, и поэтому их можно отнести лишь к слабой тенденции и использовать далее как гипотезу. Но биологический смысл таких ослаблений связи вполне объясним, если признать, что между деревьями в данном 55-летнем возрасте существует такое же сотрудничество, как и в возрасте 184 года, обнаруженное по взаимной корреляции диаметров в парах деревьев-соседей до расстояния 450 см [Рогозин, 2019], о котором мы уже упоминали ранее.

Проделанные расчёты отражают разные аспекты взаимодействия деревьев. В целом конкурентное давление соседей в микроценозе по силе колеблется от 5.8% для площади питания в возрасте 30–40 лет и до 8.9% – в 41–55 лет, составляя в среднем 7.4%. После знакомства с такими малыми её значениями становится очевидным, что конкуренцию внутри группы соседствующих деревьев уже нельзя рассматривать как главный фактор, формирующий горизонтальную структуру древостоя, и тем более использовать её как некое «теоретическое прикрытие» для обоснования интенсивных разреживаний разного рода (прореживаний и проходных рубок), якобы снижающих конкуренцию и осуществляемых во всех регионах страны. Подобные теоретические заблуждения следует отбросить и далее без предвзятости и оправданий жестко оценить их разрушительные последствия для лесов России.

По итогам проведённого перекрестного анализа хорошо видно, что предпринятое нами сплошное картирование деревьев не было избыточным. Это позволило доказать достоверность даже очень слабых связей, уверенно их выделить и оценить статистически. Особо отметим, что в прежней парадигме «борьбы видов за существование» этим связям априорно и совершенно безосновательно приписывали сильное влияние, которого в действительности нет. На больших выборках удалось также обнаружить явление, ранее совершенно не замечавшееся исследователями из-за слабой тесноты связи – чрезвычайно интересную тенденцию положительного взаимодействия деревьев, т.е. их сотрудничества при освоении ресурсов питания в микроценозах.

Представленные выше экспериментальные факты убедительно свидетельствуют о том, что существующие представления о якобы сильной конкуренции между деревьями не имеют подтверждения при массовом анализе данных. Реальность «математических» отношений между деревьями оказалась совершенно отличной от априорных представлений, часто основанных на единичных наблюдениях, а также на исследованиях по модельным деревьям. Ранее без этих представлений трудно было бы вообще изучать

лесные экосистемы, и при высоких корреляциях деревья-модели оправдали себя, особенно в таксации. Но при слабых корреляциях в селекции, лесоведении и ботанике их использование в малых выборках порождает смещение оценок, и буквально одна-две модели могут изменить всю картину рассеивания точек в поле диаграммы в сторону несуществующих средних и даже сильных связей [Рогозин, 2019, с. 136].

В связи с вышеизложенным следует освободиться от идеологемы о сильной конкуренции между деревьями [Сукачев, 1953], восходящей к идее «борьбы» видов за существование Ч. Дарвина [Костерин, 2007; Баландин, 2010], и взять на вооружение целую череду новых законов развития лесных насаждений, формирующих современную парадигму лесоведения [Рогозин, 2019; Тихонова, 2020].

Для практики полученные результаты позволяют утверждать, что рубки разреживания в продуктивных насаждениях с высокой полнотой в возрасте около 30–40 лет (и тем более в 50–60 лет) уже не повысят диаметры у деревьев, освобождаемых от давления соседей. Причем об этом было известно уже достаточно давно по результатам специальных длительных опытов с рубками ухода [Сеннов, 1984, 1999].

В перспективе данные, полученные при картировании деревьев в этих культурах, можно использовать и усложнять пространственный анализ микроценозов. Например, суммировать диаметры соседей и дерева в центре, а затем разделить эту сумму на площадь питания. Получим *биоиндикацию* территории по успешности роста деревьев. Её можно разделить на 5–7 классов (бонитетов) и представить территорию полигонами с разным затемнением. Новый слой карты с «бонитетами микроценозов» укажет на высоко- и малопродуктивные места, где будет интересно провести исследование почвы, её корненасыщенность, составить карту электрических потенциалов, термокарту, выявить отличия в видовом составе растений, густоте подроста и подлеска и т.д.

Заключение

Изучение микроценозов вокруг 433 деревьев в культурах сосны в возрасте 55 лет при полноте 0.99 и 0.90 на 5 пробных площадях, выбранных специально для сравнения влияния средней и малой текущей густоты показало, что среди пяти показателей сложного взаимодействия окружающих деревьев с деревом в центре полигона питания ни один не превышает силу влияния простой площади питания. Однако они показывают разные аспекты взаимодействия деревьев – от конкуренции до сотрудничества. Удельное конкурентное давление соседей менялось по силе от 5.8 до 8.9%, составляя в среднем 7.4%, а при учёте расстояний до каждого соседа увеличилось до 8.5%. При средней текущей густоте культур сотрудничество деревьев по силе влияния (11.6%) приблизилось к влиянию площади питания (13.0%). В среднем сила влияния сотрудничества деревьев-соседей с деревом в центре микроценоза составила 9.6%. Таким образом, сотрудничество деревьев в микроценозе оказалось в 1.13 раз сильнее, чем конкурентное давление деревьев-соседей.

Список источников

1. Баландин Р.К. Анти-Дарвин. Миражи эволюции. М.: Яуза. Эксмо, 2010. 350 с.
2. Гавриков В.Л. Рост леса: уровни описания и моделирования. Красноярск, 2013. 176 с.
3. Горячев В.М. Влияние пространственного размещения деревьев в сообществе на формирование годичного слоя древесины хвойных в южнотаежных лесах Урала // Экология. 1999. № 1. С. 9–19.
4. ГОСТ 16128-70. Площади пробные лесоустроительные. Методы закладки. М.: Изд-во стандартов, 1970. 8 с.
5. Грабарник П.Я., Секretenko О.П. Анализ горизонтальной структуры древостоев методами случайных точечных полей // Сибирский лесной журнал. 2015. № 3. С. 32–44.
6. Гриффитс Дж. Научные методы исследования осадочных пород. М.: Мир, 1971. 230 с.
7. Демаков Ю.П. Структура и закономерности развития лесов республики Марий Эл. Йошкар-Ола, 2018. 432 с.
8. Демаков Ю.П. Сухостой с живым комлем? // Научные труды государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Йошкар-Ола, 2007. Вып. 2. С. 331–333.
9. Колобов А.Н. Моделирование пространственно-временной динамики древесных сообществ: индивидуально-ориентированный подход // Лесоведение. 2014. № 5. С. 72–82.
10. Колтунова А.И. О формировании горизонтальной структуры и срастании корневых систем в древостоях сосны // Эко-потенциал. 2013. № 3–4. С. 136–142.
11. Костерин О.Э. Дарвинизм как частный случай «бритвы Оккама» // Вестник ВОГиС. 2007. Т. 11, № 2. С. 416–431.
12. Кропоткин П.А. Взаимная помощь среди животных и людей как двигатель прогресса. Пб.; М.: Голос труда, 1922. 342 с.
13. Морозов Г.Ф. Учение о лесе. М.; Л.: Сельколхозгиз, 1931. 440 с.
14. Разин Г.С. Динамика сомкнутости одноярусных древостоев // Лесоведение. 1979. № 1. С. 23–25.

15. Rogozin M.V. Структура древостоев: конкуренция или партнерство? [Электронный ресурс]: монография. Пермь, 2019. 223 с.
16. Rogozin M.V. Конкуренция между деревьями в 55-летних культурах сосны // Успехи современного естествознания. 2021а. № 4. С. 27–32. DOI: 10.17513/use.37603
17. Rogozin M.V. Конкуренция между деревьями сосны и необходимость рубок ухода // Бюллетень науки и практики. 2021б. Т. 7. № 5. С. 24–41. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/66/03>
18. Санников С.Н., Санникова Н.С. Лес как подземно-сомкнутая дендроценоэкосистема // Сибирский лесной журнал. 2014. № 1. С. 25–34.
19. Сеннов С.Н. Уход за лесом: экологические основы. М.: Лесн. пром-сть, 1984. 127 с.
20. Сеннов С.Н. Итоги экспериментального изучения конкуренции в древостоях // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 1993. № 11. С. 160–172.
21. Сеннов С.Н. Итоги 60-летних наблюдений за естественной динамикой леса. СПб.: СПбНИИЛХ, 1999. 98 с.
22. Сукачев В.Н. О внутривидовых и межвидовых взаимоотношениях среди растений // Сообщения института леса. М., 1953. Вып. 1. С. 544–556.
23. Тихонова И.В. Четыре опоры к фундаменту современного устойчивого лесоводства // Лесные экосистемы: современные вызовы, состояние, продуктивность и устойчивость: материалы междунар. науч.-практ. конф. Гомель, 2020. С. 97–101.
24. Усольцев В.А. Продукционные показатели и конкурентные отношения деревьев. Исследование зависимостей. Екатеринбург, 2013. 556 с.
25. Усольцев В.А. и др. Фитомасса деревьев в конкурентных условиях: исследование системных связей средствами информационных технологий. Екатеринбург, 2018. 526 с.
26. Чернов Н.Н., Соловьев В.М., Нагимов З.Я. Методические основы лесокультурных исследований. Екатеринбург, 2012. 421 с.
27. Шанин В.Н. Моделирование горизонтального распространения корней деревьев в различных условиях местообитания // Лесоведение. 2015. № 2. С. 130–139.

References

1. Balandin R.K. *Anti-Darwin. Miraži èvoljucii* [Anti-Darwin. Mirages of Evolution]. Moscow, Jauza. Èksmo Publ., 2010. 350 p. (In Russ.).
2. Gavrikov V.L. *Rost lesa: urovni opisanija i modelirovanija* [Forest growth: levels of description and modeling]. Krasnoyarsk, 2013. 176 p. (In Russ.).
3. Goryachev V.M. [The influence of the spatial placement of trees in the community on the formation of the annual layer of coniferous wood in the southern taiga forests of the Urals]. *Èkologija*. No. 1 (1999): pp. 9-19. (In Russ.).
4. *GOST 16128-70. Ploščadi probnye lesoustroitel'nye. Metody zakladki* [GOST 16128-70. Trial forest management areas. Bookmark Methods]. Moscow, Izd-vo standartov Publ., 1970. 8 p. (In Russ.).
5. Grabarnik P.Ja., Sekretenko O.P. [Analysis of the horizontal structure of stands by methods of random point fields]. *Sibirskij lesnoj žurnal*. No 3 (2015): pp. 32-44. (In Russ.).
6. Griffiths D. *Naučnye metody issledovanija osadočnyh porod* [Scientific methods of sedimentary rocks research]. Moscow, Mir Publ., 1971. 230 p. (In Russ.).
7. Demakov Ju.P. *Struktura i zakonmernosti razvitija lesov respubliki Marij Èl* [Structure and patterns of development of forests of the Republic of Mari El]. Yoshkar-Ola, 2018. 432 p. (In Russ.).
8. Demakov Ju.P. [Dead wood with a live com?]. *Naučnye trudy gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika „Bol'shaja Kokšaga”*. Iss. 2 (2007): pp. 331-333. (In Russ.).
9. Kolobov A.N. [Modeling of spatio-temporal dynamics of tree communities: an individually oriented approach]. *Lesovedenie*. No 5 (2014): pp. 72-82. (In Russ.).
10. Koltunova A.I. [On the formation of a horizontal structure and the fusion of root systems in pine stands]. *Èko-potencial*. No 3-4 (2013): pp. 136-142. (In Russ.).
11. Kosterin O.E. [Darwinism as a special case of Occam's Razor]. *Vestnik VOGiS*. V. 11, No 2 (2007): pp. 416-431. (In Russ.).
12. Kropotkin P.A. *Vzaimnaja pomošč' sredi životnyh i ljudej kak dvigatel' progressa* [Mutual assistance among animals and humans as an engine of progress]. Petrograd, Moscow, Golos truda Publ., 1922. 342 p. (In Russ.).
13. Morozov G.F. *Učenie o lese* [The doctrine of the forest]. Moscow, Leningrad, Sel'kolchozgiz Publ., 1931. 440 p. (In Russ.).
14. Razin G.S. [Dynamics of closeness of single-tiered stands]. *Lesovedenie*. No 1 (1979): pp. 23-25. (In Russ.).
15. Rogozin M.V. *Struktura drevostoev: konkurencija ili partnerstvo* [The structure of stands: competition or partnership? Monograph]. Perm, 2019. 223 p. (In Russ.).

16. Rogozin M.V. [Competition between trees in 55-year-old pine crops]. *Uspechi sovremennogo estestvoznaniya*. No 4 (2021a): pp. 27-32. (In Russ.). DOI: 10.17513/use.37603
17. Rogozin M.V. [Competition between pine trees and the need for logging maintenance]. *Bjulleten' nauki i praktiki*. V. 7, No 5 (2021b): pp. 24-41. (In Russ.). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/66/03>
18. Sannikov S.N., Sannikova N.S. [Forest as an underground-closed dendrocenoecosystem]. *Sibirskij lesnoj žurnal*. No 1 (2014): pp. 25-34. (In Russ.).
19. Sennov S.N. *Uchod za lesom: èkologičeskie osnovy* [Forest care: ecological basics]. Moscow, Lesnaja promyšlennost' Publ., 1984. 127 p. (In Russ.).
20. Sennov S.N. [Results of experimental study of competition in stands]. *Izvestija Sankt-Peterburgskoj lesotekničeskoj akademii*. No 11 (1993): pp. 160-172. (In Russ.).
21. Sennov S.N. *Itogi 60-letnich nabljudenij za estestvennoj dinamikoj lesa* [Results of 60-year observations of the natural dynamics of the forest]. St-Peterburg, SPbNIILCh, 1999. 98 p. (In Russ.).
22. Sukachev V.N. [On intraspecific and interspecific relationships among plants]. *Soobščeniya instituta lesa*. Moscow. Iss. 1 (1953): pp. 544-556. (In Russ.).
23. Tichonova I.V. [Four pillars to the foundation of modern sustainable forestry]. *Lesnye èkosistemy: sovremennye vyzovy, sostojanie, produktivnost' i ustojčivost'* [Forest ecosystems: modern challenges, state, productivity and sustainability. Materials of the international scientific and practical conference]. Gomel, 2020, pp. 97-101. (In Russ.).
24. Usoltsev V.A. *Produkcijonnye pokazateli i konkurentnyye otnošenija derev'ev. Issledovanie zavisimostej* [Production indicators and competitive relations of trees. Dependency research]. Ekaterinburg, 2013. 556 p. (In Russ.).
25. Usoltsev V.A., Chasovskikh V.P., Akchurina G.A., Osmirko A.A., Kokh E.V. *Fitomassa derev'ev v konkurentnyh uslovijach: issledovanie sistemnyh svjazej sredstvami informacionnyh tehnologij* [Phytomass of trees in competitive conditions. Research of system connections by means of information technologies]. Ekaterinburg, 2018. 526 p. (In Russ.).
26. Chernov N.N., Solov'ev V.M., Nagimov Z.Ya. *Metodičeskie osnovy lesokul'turnykh issledovanij* [Methodological foundations of forest and cultural research]. Ekaterinburg, 2012. 421 p. (In Russ.).
27. Shanin V.N. [Modeling of horizontal spreading of tree roots in various habitat conditions]. *Lesovedenie*. No 2 (2015): pp. 130-139. (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 10.09.2021; одобрена после рецензирования 28.10.2021; принята к публикации 02.12.2021.

The article was submitted 10.09.2021; approved after reviewing 28.10.2021; accepted for publication 02.12.2021.

Информация об авторе

М. В. Рогозин – доктор биологических наук, профессор.

Information about the author

M. V. Rogozin – doctor of biology, professor.