

УДК 630*165:582.47:630*231

ВЛИЯНИЕ ПЛОЩАДЕЙ ПИТАНИЯ НА ОТПАД ДЕРЕВЬЕВ В КУЛЬТУРАХ СОСНЫ

М. В. Рогозин*Пермский государственный национальный исследовательский университет
614990, Пермь, ул. Генкеля, 4*

E-mail: rog-mikhail@yandex.ru

Поступила в редакцию 11.04.2022 г.

Изучены 55-летние культуры сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) Iб класса бонитета полнотой 0.94 на площади 1.9 га, созданные по схеме 1.82×1.10 м, где размещалось свыше 2 тыс. деревьев, и вокруг них выстроили полигоны питания на 24 пробных площади с густотой в возрасте 30 лет 1153–2207 шт./га. Установлено, что густота влияет на интенсивность отпада деревьев лишь на 22 %. В младшем классе площади питания дерева вероятность его отпада через 25 лет наибольшая (58 %) и снижается к старшим классам до 5–7 %. При этом увеличенная в 2.1 раза и более площадь питания не гарантировала деревьям их полную сохранность к 55 годам, и в 9.6 % случаев они погибали. Площади питания отпадающих деревьев в 55 лет функционально связаны с частотами площадей питания в возрасте 30 лет ($R = 0.95 \pm 0.03$), а их площадь питания менее среднего увеличивает отпад лишь на 27 %. Площадь питания дерева в 30 лет к 55 годам повлияла на диаметр отпавших и живых деревьев очень слабо, с силой соответственно 1.3 ± 0.3 и 8.7 ± 0.1 %. Это подтверждает результаты исследования С. Н. Сеннова (1999, 2005) о том, что, несмотря на интенсивные прореживания в возрасте 40 лет, на протяжении следующих 40 лет деревья погибали при любых диаметрах, и характер отпада не отличался от контроля, поэтому с лесоводственной точки зрения рубки прореживания в среднем возрасте уже не эффективны. Требуется более ранняя оптимизация густоты древостоя в возрасте 10–15 лет.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, густота, площадь питания, живые деревья, отпавшие деревья, диаметр ствола

DOI: 10.15372/SJFS20240107

ВВЕДЕНИЕ

В лесоводстве отпад деревьев определяется как их отмирание в результате естественного изреживания насаждений; в молодняках и в среднем возрасте он происходит главным образом по причине конкурентных отношений между растениями и особенно интенсивен в насаждениях с высокой густотой. Это определение вытекает из закона естественного изреживания насаждений, впервые сформулированного Г. Ф. Морозовым (1949). В соответствии с ним насаждение развивается в спелый древостой с естественным сокращением числа деревьев на единице площади. Закон этот настолько очевиден, что о нем даже не упоминают, а сразу переходят к его использованию, распределяя деревья

при рубках ухода на лучшие, вспомогательные и нежелательные (Правила..., 2020). Его действие отражают все таблицы хода роста лесобразующих пород. Между тем за последние десятилетия стали известны еще по меньшей мере пять законов развития древостоев, действие которых необходимо учитывать как при уходах за естественными лесами, так и при создании культур (Рогозин, 2019).

Отсюда актуальны исследования структуры отпада в разных насаждениях и площадей питания у живых и отпадающих деревьев в их сравнении на фоне разной густоты. В настоящее время цифровые технологии картирования позволяют на порядок увеличивать объемы выборок и обнаруживать очень слабые связи, о которых прежде мы даже не подозревали. Их

использование позволит с высокой статистической точностью оценить связи между густотой насаждения, площадями питания деревьев и их влиянием на размеры живых и отпадающих деревьев, что предопределист новизну получаемых результатов.

Цель исследований – изучить площади питания живых и отпавших деревьев, распределение их частот и влияние на размеры стволов в культурах сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в среднем возрасте.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Культуры были созданы в 1967 г. на супесчаной почве посадкой неравномерно при среднем расположении деревьев по схеме 1.82×1.10 м (5 тыс. шт./га) на площади 3.3 га в кв. 43 Нижне-Курийского участкового лесничества Пермского городского лесничества (г. Пермь). В возрасте 55 лет они растут по Ib классу бонитета и имеют высокую полноту. В них на относительно ровной территории заложили серию из 24 пробных площадей (пп) с определением диаметра стволов через их окружности с точностью ± 0.1 см. Измерения проводили осенью 2019 г. и весной 2020 г. Перед этим у дерева подрубали кору по окружности, наносили номер и отмечали место для повторных измерений. Полевые работы включали в себя прокладку визиров, картирование живых и отпавших деревьев по прямоугольным координатам с их нанесением на абрис с точностью $\pm 3\text{--}5$ см. В тот же день составлялась их карта в программе ArcMap-ArcView. Определяли примерные диаметры у отпада также и по остаткам сгнивших пней. При рубках ухода в данных культурах убирали только усохшие деревья, это позволило с учетом следов от старых пней ретроспективно определить густоту древостоя и площадь питания каждого дерева для возраста примерно 30 лет.

В результате картирования деревьев на площади 1.9 га и выстраивания полигонов питания был получен исходный материал для исследований: слои карты и ведомости с диаметрами стволов деревьев и их площадями питания, которые разместили в облачном хранилище Яндекс-диск.

Первый файл (<https://disk.yandex.ru/d/xZJbtR1KWsuAka>) – это карта 2 тыс. деревьев с их номерами, виртуальными границами пробных площадей и визирами; предназначена для полевых работ и поэтому повернута на 180° , так

как номера деревьев наносили на северной стороне ствола.

Второй файл (<https://disk.yandex.ru/i/gWeWyGl6IIBRxxw>) – это карта с площадями питания деревьев для двух состояний: первое – до возраста 30 лет с учетом площадей питания старых пней, для которых также выстраивали полигоны питания, и второе состояние – для возраста после 30 лет, где территорию питания старых пней распределяли по площадям питания деревьев-соседей, бывших живыми от 31 до 55 лет, т. е. это были сухостойные и живые деревья. Слой карты для первого состояния площадей питания у деревьев (без их номеров) до возраста 30 лет показан ниже (рис. 1).

Третий файл (https://disk.yandex.ru/i/gUnkE636n183_w) – это ведомости с диаметрами стволов, площадями питания деревьев в возрасте до 30 лет и после 30 лет, а также высотами у 160 деревьев, измеренных в массиве культур.

По столь обширным данным будет написано несколько работ, и так как рамки данной статьи не позволяют использовать их целиком, то мы задействуем здесь только 9 пробных площадей: 5 в местах слабого отпада деревьев и 4 – в местах с сильной интенсивностью отпада.

Анализ различий между показателями проводили для уровня значимости $t_{0.05}$ по принятым статистическим процедурам. В связи с тем, что распределение частот площадей питания было асимметрично, их преобразовывали извлекая квадратный корень из площади питания (Гриффитс, 1971). Применяли анализ связей, используемых в лесоводственных исследованиях (Демаков, 2018).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Данные перечета деревьев на 24 пп после обработки ранжировали по густоте в возрасте 30 лет, названной здесь «ретрогустота», и часть таксационных показателей представлена ниже (табл. 1).

Густота культур по пробным площадям в возрасте 30 лет колебалась от 1153 до 2207 дер./га, с различиями в 1.9 раза. Анализ данных показывает, что несмотря на снижение густоты за 25 лет на четверть ее ранги остались почти такими же, при корреляции между ними $R = 0.95 \pm 0.02$.

Снижение густоты отражает действие Закона естественного изреживания, и к возрасту спелости она снизится до 500–700 дер./га; следовательно, густота должна стремиться к вырав-

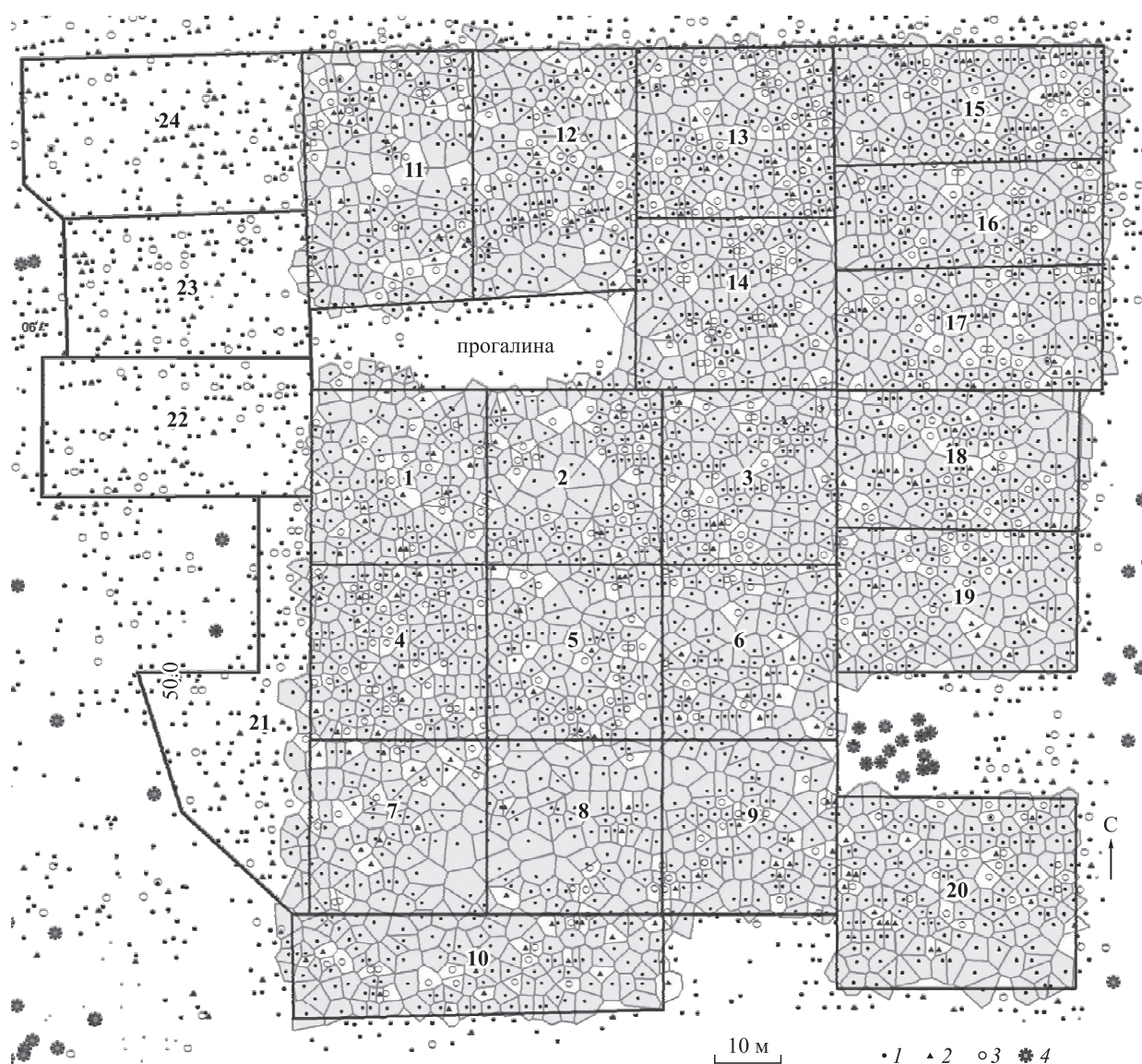


Рис. 1. Живые и отпавшие деревья в 55-летних культурах сосны и полигоны их питания на 24 пробных площадях.

1 – живые деревья; 2 – следы пней; 3 – сухостойные деревья; 4 – деревья естественного происхождения.

ниванию. Однако происходит это крайне слабо. В связи с этим возникает вопрос, а с какой силой густота влияет на отпад? Казалось бы, в этом вопросе и так все ясно – чем густота больше, тем сильнее отпад. Но нам нужны *количественные* оценки этого процесса.

Обычно отпад рассчитывают в м³/га, или как число погибших растений. Также используют интенсивность отпада. Для этих показателей мы построили поля корреляции в их связи с ретрогустотой в возрасте 30 лет (рис. 2).

Как видим, уровни связей получились разные. Для натурального показателя отпада (в шт./га) аппроксимация тренда равна $R^2 = 0.751$, а для отпада в процентах $R^2 = 0.220$, или в 3.4 раза слабее.

Снижение связи происходит потому, что при расчётах по натуральному показателю мы имеем дело с функциональной связью – так бывают связаны целое и его часть (например, объем ствола и его диаметр). Также и отпад к возрасту 55 лет (в дер./га) – это часть ретрогустоты в возрасте 30 лет, и вследствие этого связь – высокая. Поэтому для расчета влияния густоты как фактора на отпад деревьев использовать простое число погибших растений некорректно; следует взять интенсивность отпада в процентах, функционально не связанных с ретрогустотой.

Именно интенсивность отпада показала нам ее действительную связь с фактором густоты древостоя в возрасте 30 лет. В результате сильный отпад наблюдается не только в густых, но

Таблица 1. Густота, отпад, средний диаметр живых деревьев и полнота древостоев в 55-летних культурах сосны на 24 пробных площадях

Ретрогустота в возрасте 30 лет		Текущая густота в возрасте 55 лет		Естественный отпад			Средний диаметр., см	Полнота относи- тельная	Номер пробной площади
Ранг	Дер./га	Ранг	Дер./га	Ранг	Дер./га	%			
1	1153	3	999	1	155	13.4	23.0	1.02	8
2	1266	2	956	14	309	24.4	22.7	0.86	7
3	1379	1	942	23	437	31.7	23.0	0.92	24
4	1402	4	1092	4	310	22.1	21.5	0.87	22
5	1460	7	1126	7	333	22.8	21.6	0.91	21
6	1477	6	1111	9	366	24.8	21.6	0.89	9
7	1479	8	1162	2	317	21.4	21.5	0.84	10
8	1586	5	1101	22	485	30.6	22.0	0.92	11
9	1618	12	1259	5	360	22.2	20.5	0.85	20
10	1646	11	1253	13	392	23.8	21.6	1.00	19
11	1646	14	1266	8	380	23.1	21.1	1.01	6
12	1651	9	1211	19	439	26.6	21.5	0.93	12
13	1654	15	1272	9	383	23.1	21.2	0.98	23
14	1660	13	1266	12	394	23.7	19.8	0.87	5
15	1692	16	1295	10	397	23.5	20.5	0.94	18
16	1720	10	1240	20	480	27.9	21.5	0.98	17
17	1725	18	1300	15	425	24.6	20.7	0.97	14
18	1730	17	1294	19	436	25.2	21.2	0.87	1
19	1742	19	1364	3	379	21.7	20.3	0.96	16
20	1913	21	1477	6	436	22.8	20.2	0.96	2
21	1955	20	1463	18	492	25.2	19.5	0.97	3
22	1970	23	1505	11	465	23.6	19.4	0.97	15
23	2180	24	1561	21	619	28.4	19.1	1.01	4
24	2207	22	1480	24	727	32.9	20.1	1.03	13
Среднее	1663		1250		413	24.6	21.0	0.94	
Вариация, %	15.7		13.2		28.0	16.0	5.1	5.9	
Минимум	1153		942		155	13.4	19.1	0.84	
Максимум	2207		1561		727	32.9	23.0	1.03	

в местах средней и даже малой густоты, что не выявлялось при натуральных показателях отпада. Снижение силы влияния густоты на интенсивность отпада ниже уровня в 50 % (в нашем случае оно опустилось вообще до 22 %, исходя из $R^2 = 0.220$ на рис. 2) убеждает нас в том, что повышение густоты в указанных пределах уже нельзя считать главной причиной усиления конкуренции и отпада деревьев, так как оставшиеся 78 % факторов, влияющих на интенсивность отпада, не связаны с густотой ценноза. И этот результат вызывает вопросы. Непонятно, почему отпад различается более чем в 2 раза (13 и 32 %) в местах с малой густотой. Виртуальные пробные площади размером 0.07–0.10 га можно назвать «мидиценозы», т. е. сообщества, средние между микро- и макроценозами, где изреживание протекает, возможно,

со своими особенностями. И такие места были бы нивелированы на крупных пробных площадях при числе деревьев около 200 шт., как это принято в таксации.

Из 24 пробных площадей выбрали 5 со слабым (пп 5, 6, 10, 16, 20) и 4 – с сильным отпадом (пп 4, 11, 13, 17), где провели сравнение диаметров стволов и полигонов питания деревьев (табл. 2)

Обращает на себя внимание тот факт, что в группах 1 и 2 средние диаметры живых деревьев одинаковы и только в группе 3, в самых густых местах культур, они меньше – 19.3 см против 20.2 см в группах 1 и 2.

У живых деревьев в группе 1 площади питания были достоверно больше на 0.68 м² (на 12 %) при $t = 4.1 > t_{0.99} = 2.6$. У отпада они различались на 8.5 % (4.83 и 5.24 м²) и различие было

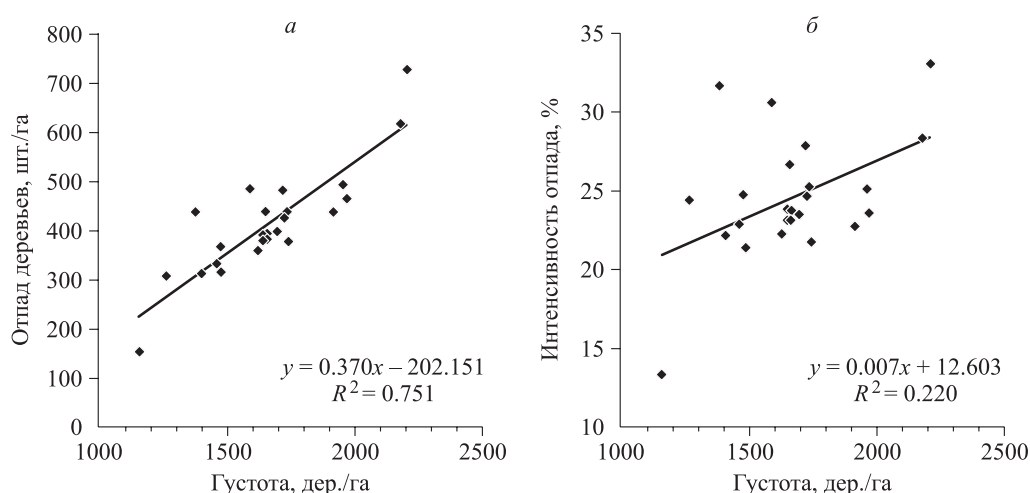


Рис. 2. Влияние ретрогустоты в возрасте 30 лет на отпад деревьев к 55 годам в натуральном (а) и в относительном (б) выражениях.

уже недостоверно при $t = 1.87 < t_{0.95} = 1.98$, а это значит, что площади питания у отпадавших деревьев были практически одинаковы как при слабом, так и при сильном естественном изреживании. Поэтому из группы 2 мы и выделили группу 3 – пробные площади в наиболее гус-

тых местах, где питание у отпада достоверно меньше на 22 % в сравнении с группой 1 при $t = 4.4 > t_{0.99} = 2.6$. Однако это мало изменило результат расчета их связей с диаметром отпада – они все равно оказались очень слабыми по силе влияния (2.4 и 1.7 %).

Таблица 2. Показатели питания и диаметра ствола у 1255 живых и отпавших деревьев в местах с малым и большим отпадом в культурах сосны

Показатели	Статистические показатели						Влияние площади питания на диаметр	
	<i>n</i>	<i>x</i>	<i>m</i>	<i>CV</i> , %	min	max	<i>R</i>	Сила влияния, %
Группа 1. Малый отпад (пп 5, 6, 10, 16, 20)								
Живые деревья:								
диаметр, см	501	20.2	0.19	21	10.8	35.0		
площадь питания, м²	501	6.38	0.12	41	2.0	17.8	0.22**	4.9**
Отпавшие деревья:								
диаметр, см	135	12.2	0.24	23	5.0	22.0		
площадь питания, м²	144	5.24	0.16	38	1.73	11.22	0.04	0.2
Группа 2. Большой отпад (пп 4, 11, 13, 17)								
Живые деревья:								
диаметр, см	426	20.2	0.21	22	11.4	36.0		
площадь питания, м²	426	5.70	0.12	42	1.7	18.2	0.36**	13.1**
Отпавшие деревья:								
диаметр, см	175	12.2	0.23	26	4.0	25.0		
площадь питания, м²	184	4.83	0.15	42	1.8	14.9	0.17*	3.0*
Группа 3. В том числе самые густые места (пп 4, 13)								
Живые деревья:								
диаметр, см	222	19.3	0.27	21	11.5	31.0		
площадь питания, м²	222	4.93	0.11	33	1.7	12.6	0.16*	2.4*
Отпавшие деревья:								
диаметр, см	97	11.8	0.31	26	7.0	17.0		
площадь питания, м²	100	4.30	0.14	33	2.1	7.4	0.13	1.7

* Корреляция достоверна на уровне $t_{0.95}$.

** То же на уровне $t_{0.99}$.

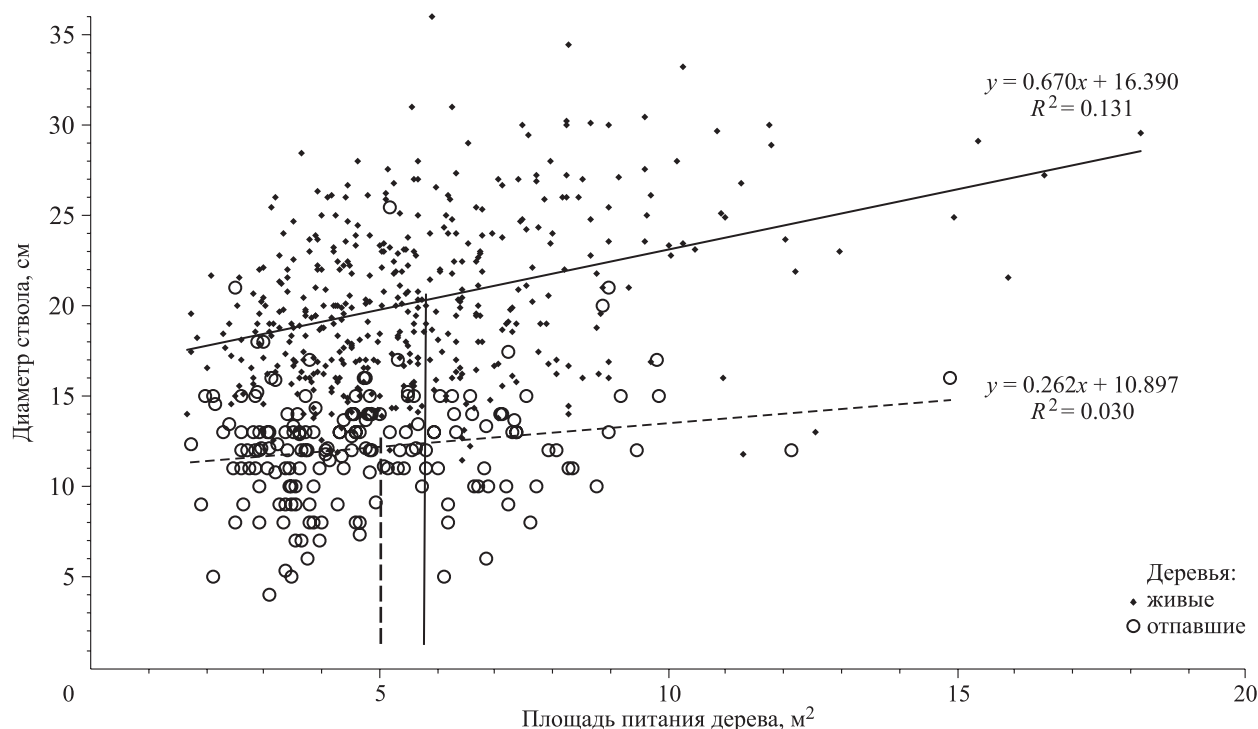


Рис. 3. Влияние площади питания на диаметр ствола живых и отпавших деревьев в местах с большой интенсивностью отпада (пп 4, 11, 13, 17).

Вертикальные линии – средние значения.

Для примера покажем места с большой интенсивностью отпада (в среднем 30 %), где сформировали выборки из 426 живых и 184 отпавших деревьев (всего 610 шт.). При этом среди отпада обнаружили единичные деревья средних и даже крупных размеров (рис. 3).

Из этих крупных отпавших деревьев два пострадали от снеголома, а два с диаметрами 20 и 25 см усохли по невыясненным причинам, хотя выросли на средней и даже большой площади питания.

По показателю аппроксимации R^2 сила влияния площади питания на диаметр живых деревьев здесь равна 13.1 %, а на диаметр отпавших деревьев – 3.0 %. В местах с малой интенсивностью отпада на пяти других пробных площадях в выборках из 501 живых и 144 отпавших деревьев (табл. 2) аналогичные влияния для живых деревьев оказались равны 4.9 % и для отпавших – 0.2 %.

Если взять средневзвешенные значения, то для выборок из живых (927 шт.) и отпавших деревьев с диаметрами, которые удалось установить по следам их пней и сухим стволам (310 шт.), получаем достоверные влияния площади питания на диаметр живых деревьев с силой 8.7 ± 0.1 % и на диаметр отпада – 1.3 ± 0.3 %.

По рис. 3 также можно рассчитать, сколько из 37 деревьев-лидеров, имеющих диаметр на

30 % более, сформировались на малой площади питания, и сколько – на большой. На малой площади питания их 7 шт., или 19 %, и можно предполагать, что их размеры в большей мере обязаны генотипам, а остальные 81 % воспользовались увеличенным питанием и поэтому выросли крупными из-за благоприятной среды их обитания. На аналогичной диаграмме для мест с малым отпадом, которая здесь не показана, по тем же расчетам их доли равны 39 и 61 %. В среднем по 9 пробным площадям для 75 деревьев-лидеров это доля составила 71 %. Конечно, к спелому возрасту площади питания увеличатся, но пока становится очевидным, что в благоприятных условиях и в среднем возрасте насаждений большая их часть формируется на площадях питания выше средних значений. Скорее всего, это преобладание снизится, но всё же сохранится вплоть до перестойного возраста; так, в 184-летнем сосняке в аналогичных условиях их доля составила 54 % (Рогозин, 2019). Таким образом, в среднем возрасте деревья-лидеры формируются в 2.4 раза чаще на больших площадях питания.

Далее следует выяснить самый важный для практики вопрос: как участвовали в отпаде деревья с разной площадью питания? Для этого на каждой из 9 пробных площадей мы сумми-

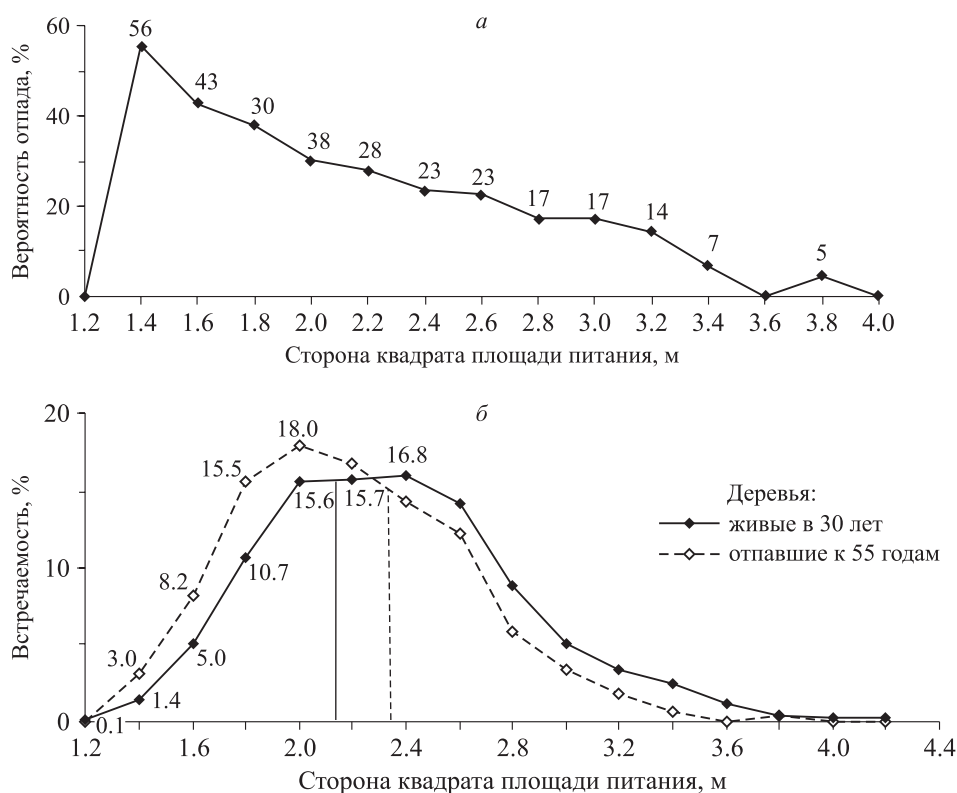


Рис. 4. Частота (вероятность) отпада деревьев по классам питания (а) и встречаемость классов питания (б) у 1255 живых в 30 лет и у 328 отпавших к 55 годам деревьев.

ровали все живые и отпавшие деревья и учли их как живые для возраста 30 лет. Затем их площади питания разбили на 15 классов и рассчитали, сколько деревьев погибло в каждом классе. Дело осложнилось тем, что распределение площадей питания асимметрично и его нужно преобразовать в такой вид, где бы оно приблизилось к нормальному распределению. Обычно используют логарифмирование или извлечение квадратного корня (Гриффитс, 1971). Для нашего случая квадратный корень из площади питания – вполне понятная величина в виде стороны квадрата с площадью, равной площади питания дерева. Для простоты вместо термина «преобразованная площадь питания дерева» мы будем использовать его в сокращении до слов «питание дерева». Так как выше было показано, что отпад деревьев в местах сильного и слабого изреживания протекает сходным образом (при близких к нулевым значениям влияниях площади питания на размер деревьев), то данные выборки объединили в одну совокупность. После преобразования данных построили диаграмму вероятностей отпада деревьев по классам питания (или частот, как принято в математической статистике называть выборочные вероятности), а также диа-

грамму встречаемости классов питания у живых и отпавших деревьев, где вертикальные линии обозначают средние значения (рис. 4).

Деревья погибали во всех классах питания, включая самые старые. В классе с наименьшим питанием при стороне квадрата площади питания 1.4 м погибло 56 % деревьев, в следующем – 43 %, затем – 38 % и далее отпад плавно понижался до 5–7 % в классах с максимальным питанием. Получается, что отпад деревьев будет иметь место даже при питании, в 2–3 раза большем по площади, чем среднее значение. Между тем младшие классы питания имеют самую малую численность и слабо влияют на общий объем отпада. Это видно на сопряженных рядах частот у всех ранее живых и затем отпавших из их числа деревьев (см. рис. 3) с корреляцией частот $R = 0.95 \pm 0.03$. При возведении этой корреляции в квадрат получаем коэффициент детерминации 0.90, а это значит, что частоты площадей питания у отпадающих деревьев функционально связаны с частотами питания деревьев в возрасте 30 лет, т. е. большая часть деревьев погибала не потому, что их площадь питания была мала (менее среднего), а потому, что площадей питания с такими значениями было просто больше.

Поясним последнее утверждение расчетами и воспользуемся частотами в шести младших классах питания со значениями 1.2–2.2 м. Для живых деревьев сумма их частот равна $0.1 + 1.4 + 5.0 + 10.7 + 15.6 + 15.7 = 48.5$ %, а сумма частот отпавших к 55 годам деревьев в этих классах составила $3.0 + 8.2 + 15.5 + 18.0 + 16.8 = 61.6$ %. Если бы отпад полностью повторял частоты по классам питания в возрасте 30 лет, то последняя сумма также была бы равна 48.5 %, однако она оказалась в 1.27 раза больше этой нормы ($61.6 / 48.5 = 1.27$). Таким образом, площадь питания менее среднего значения увеличивает шансы отпада дерева всего лишь на 27 %.

При обсуждении полученных результатов прежде всего обратим внимание на тот факт, что в самом младшем классе питания вероятность отпада была наибольшей и достигала 58 % (рис. 4, а). Отпад деревьев при малой площади питания вполне согласуется с законом естественного изреживания, и как раз из подобных наблюдений, и уже очень давно, появилась априорная рекомендация разреживать густые места при уходах за лесом. С этим можно согласиться, но только при разреживаниях намного раньше 30 лет, так как после этого возраста площадь питания влияет на размер дерева уже очень слабо: в нашем случае всего лишь с силой 8.7 ± 0.1 % при расчете этого значения как средневзвешенного из значений 4.9 и 13.1 % для мест с малым и большим естественным отпадом (табл. 2).

Иногда важность исследования определяют не столько результаты, сколько новые вопросы. Здесь как раз такой случай, и, если при исследовании 200 модельных деревьев в работе В. А. Усольцева с соавт. (2018) подозрения о слабой конкуренции между деревьями в молодняках были впервые обозначены, то в нашем случае они перерастают в уверенность. В связи с этим по будущему состоянию наших культур возник неизбежный вопрос: чем закончится в них жизненное соревнование между деревьями? Если взять для примера 184-летний сосняк, изученный нами в этом лесничестве ранее и в таких же условиях (Рогозин, 2019), то там 40.4 % деревьев сохранились в биогруппах, а 40 % его территории при полноте 0.92 занимали окна и прогалины. При этом равномерность размещения проявили отнюдь не деревья, а весьма неожиданно их биогруппы (Рогозин, 2019, с. 96).

Отметим, что явление это выявлено нами впервые. Исследователи пытаются вскрыть причины образования биогрупп (Erfanifard,

Stereńczak, 2017) и понять механизм кооперации деревьев, в котором обнаруживается даже некоторое сходство с фауной в разделении экологических ниш питания (Рогозин, 2019). Изучаются также корневые системы (Grubb, 1994; Kadmon, 1995; Терехов, Усольцев, 2010; Колтунова, 2013) и геоактивные зоны, под действием которых образуются неравномерности в структуре древостоев (Марченко, 1995; Рогозин и др., 2020). Все эти работы убеждают нас в том, что биогруппы возникают не случайно, поэтому мы поддерживаем рекомендацию оставлять биогруппы при рубках прореживания (Русинова, Варсегова, 2009), однако настаиваем на сдвиге регуляции густоты к возрасту 10–15 лет, как это принято в плантационном лесоводстве (Плантационное лесоводство, 2007), так как более поздние прореживания нарушат уже сложившийся генетический гомеостаз в частотах правых и левых форм деревьев (Голиков, 2011) и не выведут развитие древостоя на продуктивный путь, о чем мы неоднократно предупреждали (Рогозин, 2019). Есть указания на бесполезность таких поздних прореживаний, начинавшихся в конце второго класса возраста, также и в длительных опытах с рубками ухода (Сеннов, 1999, 2005).

Вопросы ухода за лесом напрямую связаны с дифференциацией деревьев и их естественным отпадом, который лесоводы пытаются предотвратить, увеличивая площади питания вырубкой соседей при рубках прореживания. Однако локальная густота микроценоза вокруг отпавшего дерева, которую мы рассчитывали здесь в виде обратной величины как площадь питания, повлияла на диаметр отпада с силой в среднем 1.3 ± 0.3 %, т. е. исчезающе слабо. В то же время на уровне древостоев, т. е. сообществ растений как популяций, влияние их общей густоты выросло на порядок и достигло в наших культурах 22 % (рис. 1). И это при том, что различие в ретругустотах в возрасте 30 лет было всего лишь в 1.9 раза. А что произойдет, если различия возрастут до 3–4 раз, например при обычном и плантационном выращивании? Безусловно, различия в ранних густотах или, по Г. С. Разину (1979), в «начальных густотах» в возрасте 10 лет, будут еще больше, следовательно, и влиять густота будет сильнее. Как раз по грациям начальной густоты Г. С. Разин (1979) и предложил впервые разрабатывать модели развития древостоев, а также открыл закон, названный его именем (Рогозин, 2019). Из этого закона следует, что снижать надо не локальную густоту микроценозов, и не в конце второго класса возраста,

а в целом густоту очень молодых древостоев с их разреживанием в возрасте 10–15 лет.

Кроме того, при выяснении вопроса, с какой вероятностью отпадают деревья с малой площадью питания, т. е. меньше её среднего значения, было установлено, что отпад у них выше нормы лишь на 27 %. При этом даже из 94 деревьев с наибольшим превышением площади питания (в 2.1 раза и более) отпали 9.6 % деревьев. Из этого следует, что даже сильно увеличенная в возрасте 30 лет площадь питания не гарантировала деревьям их полную сохранность к 55 годам, и до 10 % деревьев всё равно погибали без каких-либо видимых причин.

Эти данные подтверждаются результатами исследований С. Н. Сеннова (1999), описанные им также в учебнике (Сеннов, 2005), о том, что несмотря на очень интенсивные прореживания в возрасте около 40 лет, на протяжении следующих 40 лет деревья продолжали погибать во всех ступенях диаметра, и характер отпада не отличался от контроля. По-видимому, причины отпада деревьев в этом возрасте в подавляющем большинстве случаев уже не фитотенотические и не конкурентные. Скорее всего, они связаны с энергетическими особенностями среды обитания дерева (Марченко, 1995), с влиянием глубинных энергий Земли и их взаимодействием с генотипом дерева (Рогозин и др., 2020), поэтому лесная биофизика как наука (Хильми, 1957) должна наконец занять свое достойное место среди четырех основных научных направлений в изучении лесных экосистем (Тихонова, 2020).

После проведенного обсуждения возникает целый ряд вопросов, где важно выяснить причины, по которым погибают даже крупные деревья, образуются прогалины, окна и скопления деревьев. В связи с этим необходимо изучать механизмы кооперации деревьев (Баландин, 2010; Усольцев и др., 2018), а также устойчивость биогрупп, сохраняющихся до перестойного возраста, в которых растет до 40 % деревьев (Маслаков, 1999; Сеннов, 2005; Рогозин, 2019).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, современные методы пространственного анализа позволили проанализировать 1255 полигонов питания, что на порядок больше, чем в методах с модельными деревьями. Были сделаны выборки в местах с разной интенсивностью естественного отпада: слабого (22.4 %) и сильного (30.1 %). В возрас-

те 30 лет доля младших классов питания составила 48.5 %, и в отпаде они участвовали с долей 61.6 %, что всего лишь в 1.27 раза выше нормы и, таким образом, площадь питания менее среднего увеличивает шансы отпада дерева на 27 %. В связи с тем, что к возрасту 55 лет на диаметр отпавших и живых деревьев площадь их питания в 30-летнем возрасте повлияла соответственно на 1.3 ± 0.3 и на 8.7 ± 0.1 %, то конкуренция между деревьями в этот период при такой малой силе ее влияния на их размеры уже не является главным регулятором их развития. В практическом плане обнаруженное исчезающе слабое влияние площади питания на размер отпадающих деревьев, а также очень слабое ее влияние на размер живых деревьев, с учетом данных других авторов, позволяют прийти к заключению, что рубки прореживания сосновых насаждений в среднем возрасте, увеличивающие площади питания деревьев, будут не эффективны. Нужна более ранняя оптимизация густоты всего древостоя в возрасте 10–15 лет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Баландин Р. К. Анти-Дарвин. Миражи эволюции. М.: Яуза Эксмо, 2010. 350 с.
- Голиков А. М. Эколого-диссимметрический и изоферментный анализ структуры модельных популяций сосны обыкновенной // Лесоведение. 2011. № 5. С. 46–53.
- Гриффитс Дж. Научные методы исследования осадочных пород. Пер. с англ. М.: Мир, 1971. 422 с.
- Демаков Ю. П. Структура и закономерности развития лесов Республики Марий Эл. Йошкар-Ола: Поволж. гос. технол. ун-т, 2018. 432 с.
- Колтунова А. И. О формировании горизонтальной структуры и срастании корневых систем в древостоях сосны // Экопотенциал. 2013. № 3–4. С. 136–142.
- Марченко И. С. Биополес лесных экосистем. Брянск: Товарищество «Придесенье», 1995. 188 с.
- Маслаков Е. Л. Генезис и динамика социальных структур сосны в фазе индивидуального роста // Таежные леса на пороге XXI века. СПб.: СПбНИИЛХ, 1999. С. 42–51.
- Морозов Г. Ф. Учение о лесе. Изд. 7-е. М., Л.: Гослесбумиздат, 1949. 453 с.
- Плантационное лесоводство / Под ред. И. В. Шутова. СПб.: Изд-во Политех. ун-та, 2007. 366 с.
- Правила ухода за лесами. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 30.07.2020 № 534. М.: Минприроды России, 2020.
- Разин Г. С. Динамика сомкнутости одноярусных древостоев // Лесоведение. 1979. № 1. С. 23–25.
- Рогозин М. В. Структура древостоев: конкуренция или партнерство? Пермь: ПГНИУ, 2019. 223 с.
- Рогозин М. В., Михалев В. В., Рыбальченко А. Я. Лесные экосистемы и факторы неотектоники. Пермь: ПГНИУ, 2020. 249 с.

- Русинова Н. В., Варсегова Л. Ю. Оценка качества рубки ухода по изменению площадей произрастания деревьев в биогруппе // Лесн. хоз-во. 2009. № 1. С. 29–30.
- Сеннов С. Н. Итоги 60-летних наблюдений за естественной динамикой леса. СПб.: СПбНИИЛХ, 1999. 98 с.
- Сеннов С. Н. Лесоведение и лесоводство: учеб. для студ. вузов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров и магистров 554200 «Лесное дело». М.: Академия, 2005. 256 с.
- Терехов Г. Г., Усольцев В. А. Морфоструктура насаждений и корненасыщенность ризосферы культур ели сибирской и вторичного листового древостоя на Среднем Урале как характеристика их конкурентных отношений // Хвойные бореал. зоны. 2010. Т. 27. № 3–4. С. 1–7.
- Тихонова И. В. Четыре опоры к фундаменту современного устойчивого лесоводства // Лесные экосистемы: современные вызовы, состояние, продуктивность и устойчивость: Материалы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 90-летию Ин-та леса НАН Беларуси, Гомель, 13–15 ноября 2020 г. Гомель: Ин-т леса НАН Беларуси, 2020. С. 97–101.
- Усольцев В. А., Часовских В. П., Акчурина Г. А., Осмиренко А. А., Кох Е. В. Фитомасса деревьев в конкурентных условиях: исследование системных связей средствами информационных технологий. Екатеринбург: УГЛТУ, 2018. 526 с.
- Хильми Г. Ф. Теоретическая биогеофизика леса. М.: Наука, 1957. 205 с.
- Erfanifard Y., Stereńczak K. Intra- and interspecific interactions of Scots pine and European beech in mixed secondary forests // Acta Oecol. 2017. V. 78. P. 15–25.
- Grubb P. J. Root competition in soils of different fertility: a paradox resolved? // Phytocoenologia. 1994. V. 24. N. 1–4. P. 495–505.
- Kadmon R. Plant competition along soil moisture gradients: A field experiment with the desert annual *Stipa capensis* // J. Ecol. 1995. V. 83. N. 2. P. 253–262.

THE INFLUENCE OF FEEDING AREAS ON THE FALL OF TREES IN PINE CROPS

M. V. Rogozin

Perm State National Research University
Genkel str., 4, Perm, 614990 Russian Federation

E-mail: rog-mikhail@yandex.ru

Received 11.04.2022

55-year-old crops of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) the IB productivity class (bonitet) with a completeness of 0.94 on an area of 1.9 hectares, created according to the scheme 1.82×1.10 m, were studied. More than 2 thousand trees were located on this area and polygons of their nutrition were built around them in the «ArcMap-ArcView» program. The territory was divided into 24 test areas, with density fluctuations at the age of 30 years 1153–2207 trees/ha, a fullness of 0.84–1.03 and an average diameter of 19.1–23.0 cm. It was found that the density affects the intensity of the fall of trees by only 22 %, and 78 % of the factors of their fall are not related to the density. Therefore, increased density within these limits is not the main reason for the fall of trees. It was also found out that in the younger class of the tree's feeding area, the probability of its falling off after 25 years is the greatest (58 %) and gradually decreases to 5–7 % by the senior classes. At the same time, the area of nutrition increased by 2.1 times or more did not guarantee the trees their complete safety by the age of 55, and in 9.6 % of cases they died for no apparent reason. The feeding areas of falling trees turned out to be almost functionally related to the frequencies of feeding areas at the age of 30 with a correlation of $R = 0.95 \pm 0.03$, and this leads to the fact that their small feeding area (less than average) increases the probability of falling off by only 27 %. This is confirmed by S. N. Sennov's research (1999, 2005) that despite intensive thinning at the age of 40, over the next 40 years trees died at any diameter, and the nature of the fall did not differ from the control. Therefore, from a forestry point of view, thinning felling in middle age is no longer effective. We need a much earlier optimization of the density of the stand at the age of 10–15 years.

Keywords: Scots pine, density, feeding area, live trees, fallen trees, stem diameter.

How to cite: Rogozin M. V. The influence of feeding areas on the fall of trees in pine crops // *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2024. N. 1. P. 57–66 (in Russian with English abstract and references).