

УДК 630*533:630*56

ОСОБЕННОСТИ РОСТА СОСНОВЫХ КУЛЬТУР РАЗНОЙ ГУСТОТЫ В УСЛОВИЯХ ЮЖНОЙ ТАЙГИ СИБИРИ

Л. С. Пшеничникова, А. А. Онучин, Р. С. Собачкин, А. Е. Петренко

Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН
660036, Красноярск, Академгородок 50/28

Email: larisa-24pshenichnikova@yandex.ru, onuchin@ksc.krasn.ru, romans@ksc.krasn.ru, alcorsci@bk.ru

Поступила в редакцию 03.11.2021 г.

Проанализирована динамика таксационных показателей, отпада и прироста древесины 35-летних разногустотных культур сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), созданных в 1982 г. сотрудниками Института леса им. В. Н. Сукачева СО РАН под руководством А. И. Бузыкина на бывших сельскохозяйственных землях в Большемурутинском районе Красноярского края. Начальная густота культур варьировала в широком диапазоне (от 0.5 до 128.0 тыс. шт./га). Дана оценка влияния густоты деревьев на рост и продуктивность молодых насаждений сосны в возрасте 2, 5, 12, 15, 20, 25, 30 и 35 лет. Установлено, что уже с 5-летнего возраста наблюдается процесс интенсивного самоизреживания деревьев, при начальной густоте посадки 90.0 тыс. шт./га к возрасту 35 лет она уменьшилась до 10 тыс. шт./га. При густоте посадки менее 10 тыс. шт./га интенсивность самоизреживания существенно ниже и густота культур за аналогичный период уменьшилась менее чем в 2 раза. Показано, что на начальном этапе роста древостоев наблюдается увеличение прироста с начальной густотой посадки, с выходом на плато при густоте свыше 70.0 тыс. шт./га. С возрастом выход прироста на плато отмечается при меньшей густоте начальной посадки. Через 20 лет максимальный прирост наблюдался в вариантах посадки с начальной густотой от 50.0 до 70.0 тыс. шт./га, к 30 годам он сместился к диапазону густоты от 30.0 до 50.0 тыс. шт./га. Установлена зависимость между текущим ежегодным приростом, возрастом сосновых культур, начальной густотой посадки и текущей густотой насаждений. В целом прослеживается тенденция увеличения прироста с возрастом, однако для культур с начальной густотой посадки свыше 90 тыс. шт./га в возрастном интервале от 15 до 22 лет отмечается снижение текущего прироста, что, очевидно, связано с усилением конкурентных отношений в ценозе. Затем в результате снижения конкуренции вследствие самоизреживания перегущенных культур их прирост стал повышаться, однако темпы его роста отставали от таковых у культур с меньшей густотой начальной посадки. Таким образом, можно предположить, что высокие темпы депонирования углерода на начальном этапе создания культур повышенной густоты могут сохраняться при условии периодических уходов регулирующих густоту насаждений.

Ключевые слова: депонирование углерода, компенсационные посадки, культуры сосны, густота, возрастная динамика, прирост, моделирование.

DOI: 10.15372/SJFS20220303

ВВЕДЕНИЕ

Основные накопители углерода на Земле – леса. На их долю приходится 75 % углерода, аккумулированного в наземной растительности (Углерод..., 1994). Особое планетарное значение в аккумуляции углерода имеют тропические и бореальные леса. Хотя бореальные леса и уступают тропическим по площади и запасам фитомассы, считается, что по своему воздействию на биосферу и параметрам углеродного

цикла они существенно превосходят тропические экосистемы, поскольку в условиях холодного климата аккумулируют углерод не только в фитомассе, но и в почвенном органическом веществе. В силу ослабленной по сравнению с тропическими лесами микробной декомпозиции органики, малонарушенные бореальные леса способны на длительное время консервировать в почве атмосферный углерод.

На долю лесов России приходится 73 % площади бореальной зоны мира. Причем 42 %

сосредоточено в Сибири. По оценке Центра по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, из 500 млрд т С наземной биомассы вклад российских лесов составляет 34 млрд т С, из которых более 25 млрд т С приходится на хвойные леса. Суммарная аккумуляция углерода в лесных экосистемах Центральной Сибири (территория Красноярского края) составляет 15 879 млн т (156 т С/га лесопокрытой территории) (Углерод..., 1994; Государственный доклад..., 1996).

Запасы углерода в растениях важны, поскольку они могут резко колебаться при климатических изменениях или из-за изменения практик управления лесами и сельскохозяйственными землями. Хозяйственная деятельность человека и природные стихийные бедствия (пожары, ветровалы, насекомые-вредители) способны существенно изменить облик лесов, а следовательно изменяя статус лесных экосистем как источника или поглотителя (сток) углерода атмосферы. Повышение концентрации углекислого газа в атмосфере за последнее столетие, не сопровождаемое увеличением запасов фитомассы растительного покрова, свидетельствует о потере компенсаторных способностей биосферы.

Сохранение и разведение лесов стало рассматриваться как способ связывания (депонирования) атмосферного углерода, позволяющий хотя бы отчасти сбалансировать мощные выбросы углекислого газа в атмосферу при сжигании природного топлива. Суммарные объемы депонирования углерода лесами России оцениваются в 261.64 млн т/год, что эквивалентно 959 млн т углекислого газа (Исаев и др., 1995).

«Консервация» углерода, в лесных биогеоценозах возможна за счет лесовосстановления путем повышения продуктивности насаждений, либо за счет увеличения площади лесных экосистем, путем облесения не покрытых лесом площадей. В России 11 млн км² лесов и большое количество заброшенных и зарастающих сельскохозяйственных площадей, и есть все шансы стать всепланетным лидером по поглощению углекислого газа (Государственный доклад..., 1996). Компенсационные схемы с использованием лесовосстановления уже применяются в развивающихся странах, в США и Великобритании.

Современная густота и полнота наших лесов (в среднем она равна 0.65) свидетельствуют о существенном недоиспользовании древостоями ресурсов среды для формирования древесной продукции. Исследования и расчеты показывают, что только за счет повышения густоты древо-

стоев при тех же климатических и эдафических ресурсах с единицы площади можно получить в 1.5–2 раза больше древесной продукции по сравнению с наличным ее запасом в современных древостоях (Бузыкин, 1977). Следовательно, подтверждается вывод о крупном резерве повышения продуктивности за счет низко- и среднеполнотных древостоев и материализуется идея о том, что увеличение плотности зеленого покрова позволит на энергетическом входе в биосферу резко повысить его биологическую продуктивность (Тимофеев-Ресовский и др., 1969).

Среди биоценотических показателей важнейшим в продуктивности лесов является густота древостоев: в недостаточно густых древостоях с неполным использованием ресурсов среды формирование насаждений сопровождается уменьшением их продуктивности; в перегущенных (чрезмерно густых) со временем происходит замедление роста всех деревьев, что неизбежно приводит к общей депрессии насаждения и сопровождается потерей прироста и снижением продуктивности. Иными словами, густота древостоя природными регуляторами приводится в соответствие с потенциальными возможностями ресурсов среды конкретного экотопа. Есть основание полагать, что регулированием густоты можно достичь предельно возможной общей продуктивности древесины необходимого размера и качества.

Одним из альтернативных вариантов восполнения полезности современных лесов с позиций баланса углерода можно рассматривать искусственное лесовосстановление, в частности компенсационные посадки лесных культур разной густоты. С этих позиций диапазон густоты позволяет выявить наибольшую продуктивную эффективность густоты посадок с высоким запасом стволовой древесины и интенсивностью роста и соответственно с более полным поглощением углерода, которые можно рекомендовать в лесохозяйственной практике.

На современном этапе развития лесокультурного производства влияние густоты посадок на рост и формирование искусственных насаждений рассматриваются для выяснения оптимальных режимов целевого лесовыращивания, которые на лесосырьевых площадях обеспечивали бы наивысший запас к возрасту спелости. Исследования по густоте древостоев можно свести к общему положению: механизм регуляции приводит густоту и продуктивность древесных сообществ в соответствие с объемом и запасом жизненно необходимых ресурсов среды через

изменение численности и размеров особей. Нарушение природного баланса между численностью растений и ресурсами среды ведет к депрессии и прекращению роста, возникает опасность вступления перегущенных посадок в стадию необратимой регрессии. Каждому возрасту насаждений соответствует своя оптимальная для данных условий текущая густота. Она не может быть единой для каждой породы и должна дифференцироваться по природно-климатическим зонам и в пределах последних – по эдафическим условиям. Большое разнообразие почвенно-климатических, экономических и других условий исключает возможность стандартных рекомендаций густоты (Рубцов, 1964; Кретов, 1975; Родин, 1977; Тимофеев, 1977; Савич, 1978; Бузыкин и др., 2002; Усольцев, Маленко, 2014; и др.).

В бореальных лесах России углерод депонирующие возможности лесных культур изучены слабо. Фактическая густота древесных ценозов и ее густотные градиенты в публикациях по лесной экологии и лесоведению почти не рассматриваются, хотя они определяют объем и размер ресурсов среды, включая пространство роста, используемые каждой особью в процессе своего роста и развития (Региональные проблемы..., 2007; Кузьмичев, Пшеничникова, 2014).

Известно, что лесные культуры, особенно молодые, связывают атмосферный углерод более интенсивно в сравнении с естественными насаждениями, поскольку растут быстрее. Например, в тропиках около 80 % атмосферного углерода, депонируемого лесными культурами, приходится на первые два класса возраста (Brown et al., 1986).

Цель проводимых исследований – моделирование динамики годичного прироста древесины в разнугустотных культурах сосны (*Pinus* L.) с целью поиска оптимальных вариантов густоты посадки с наиболее высоким продуктивностным эффектом и соответственно с более полным поглощением углерода, которые можно рекомендовать в лесохозяйственной практике.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Результаты выполненных исследований основаны на экспериментальных данных, полученных в процессе изучения динамики роста разнугустотных культур сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), созданных под руководством А. И. Бузыкина в южной тайге Красноярского

края (Большемуртинское лесничество) в 1982 г. Исследования проводились по общепринятым методикам (Побединский, 1966; Моисеев, 1971).

Площадь под опытные посадки, на которой в прошлом произрастали темнохвойные древостои с участием сосны обыкновенной и лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.), длительное время находилась в сельскохозяйственном обороте. Всего заложено 18 вариантов опыта с густотой от 0.5 до 128.0 тыс. шт./га, т. е. крайние значения густоты начальной посадки различались в 256 раз. К сожалению, один вариант с густотой посадки 8 тыс. шт./га вследствие нарушения был исключен из рассмотрения. Для посадки по квадратной схеме использовали 2-летние сеянцы. Площадь каждого варианта определялась густотой и равнялась 0.01–1.0 га с посадкой не менее 500 растений, для вариантов с густотой от 48.0 до 128.0 тыс. шт./га число посадочных мест увеличивалось соответственно от 10 до 40 %, по конфигурации она близка к квадратной. Участки примыкали друг к другу без разрывов, образуя целостный блок.

Сбор полевых материалов включал сплошной пересчет деревьев на каждой секции, замер высот и диаметров на учетных деревьях (не менее 25 шт.). Высота культур устанавливалась по кривым высот применительно к среднему диаметру насаждения. Запас стволовой древесины вычислялся по таблицам объемов для молодняков сосны (Моисеев, 1971).

В таксационной и статистической обработке использованы данные только прямых (непосредственных) замеров и учетов, затем проанализированы итоговые и средние показатели каждого варианта густоты и дана оценка влияния густоты на рост и продуктивность молодых насаждений в каждом возрасте. При обработке были исключены краевые ряды посадок, контактирующие с разрывами, для устранения опушечных эффектов. Более подробно методика изложена в предыдущих публикациях (Бузыкин и др., 2002).

Исследуемые разнугустотные культуры представляют пример неодинакового использования производительности одних и тех же условий произрастания. Подобного рода данные позволяют их интерпретировать как «густотные кривые» изменения запаса, высоты, диаметра, фитомассы и других параметров (Основы..., 1964; Бузыкин, 1970; Hozumi, Shinozaki, 1970; Hozumi, 1971; Усольцев, 1985). Густотные кривые дают возможность найти параметры, обеспечивающие максимальную биопродуктивность древостоев.

Материалы обмеров культур сосны в разные годы учета (табл. 1–3) включают обобщенную характеристику разнугустотных молодняков и текущие и изменения таксационных показателей за 35 лет, начиная с момента их создания (Пшеничникова, 2018).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты моделирования процессов самоизреживания разнугустотных культур сосны свидетельствуют об интенсивном самоизреживании

культур с высокой начальной густотой посадки. При начальной густоте посадки 90.0 тыс. шт./га густота культур начиная с 5-летнего возраста, уменьшается с 80.0 до 10.0 тыс. шт./га в возрасте 35 лет, т. е. в 8 раз (табл. 1–3, рис. 1).

С уменьшением начальной густоты посадки темпы самоизреживания снижаются и при начальной густоте ниже 10.0 тыс. шт./га густота культур за аналогичный период времени уменьшается менее чем в 2 раза. Процесс самоизреживания разнугустотных культур с начальной густотой посадки свыше 2.0 тыс. шт./га эффек-

Таблица 1. Густота и доля отпада в сосновых культурах по вариантам опыта

Номер варианта	Возраст, лет							
	2	5	12	15	20	25	30	35
<i>Густота, шт./га</i>								
1	500	387	250	249	246	244	244	244
2	750	550	431	431	431	431	431	431
3	1000	790	566	566	564	564	557	560
4	1500	1200	800	671	600	594	594	588
5	2000	1340	1220	1215	1103	1103	1093	1057
6	3000	2350	2294	2259	2147	2006	2000	2000
7	4000	3510	3333	3287	3186	2519	2333	2300
9	8000	6910	6500	6300	6106	5681	5257	4867
10	10000	8120	7900	7700	7524	6532	6304	5085
11	12000	9730	9500	9300	9049	7220	7073	6268
12	16000	14260	13623	12877	10639	8336	7817	6487
13	24000	19420	17333	16389	11778	9833	7667	6388
14	32000	28800	27362	25019	15949	11338	9146	7181
15	48000	37580	30612	27857	19286	11939	9796	7449
16	64000	58000	40964	35181	25783	13012	10120	6627
17	96000	76030	62449	47143	29184	14694	11837	8367
18	128000	114670	70250	59750	34250	17750	15500	11750
<i>Отпад, %</i>								
1	100	23	50	50	51	51	51	51
2	100	27	43	43	43	43	43	43
3	100	21	43	43	44	44	44	44
4	100	20	47	55	60	60	60	61
5	100	33	39	39	45	45	45	47
6	100	22	24	25	28	33	33	33
7	100	12	17	18	20	37	42	43
9	100	14	19	21	24	29	34	39
10	100	19	21	23	25	35	37	49
11	100	19	21	23	25	40	41	48
12	100	11	15	20	34	48	51	59
13	100	19	28	32	51	59	68	73
14	100	10	14	22	50	65	71	78
15	100	22	36	42	60	75	80	84
16	100	9	36	45	60	80	84	90
17	100	21	35	51	70	85	88	91
18	100	10	45	53	73	86	88	91

Таблица 2. Диаметр и высота сосновых культур по вариантам опыта

Густота посадки, тыс. шт./га	Средний диаметр, см						Средняя высота, м					
	Возраст, лет											
	12	15	20	25	30	35	12	15	20	25	30	35
0.5	3.2	7.4	15.7	20.8	25.0	28.7	2.5	4.3	7.3	11.1	13.5	14.5
0.75	3.6	8.4	15.4	19.6	23.4	26.9	2.7	4.8	7.8	10.8	13.5	15.0
1.0	4.1	8.8	15.5	19.3	22.4	25.5	2.9	5.1	8.0	11.3	14.2	16.2
1.5	3.7	8.2	14.5	17.9	20.8	24.5	2.9	5.1	8.3	11.6	13.8	16.4
2.0	4.2	7.6	14.0	16.8	18.6	22.5	3.2	5.2	8.7	12.1	14.7	17.1
3.0	4.1	7.8	11.9	13.7	14.8	17.3	3.1	5.5	8.6	11.9	14.2	16.0
4.0	4.1	7.4	10.8	12.4	13.6	15.9	3.1	5.3	8.5	12.4	14.0	15.9
8.0	4.1	6.4	8.5	9.6	10.5	12.8	3.2	5.6	8.0	11.0	13.0	15.1
10.0	3.6	5.7	7.5	8.9	9.5	11.8	3.1	5.2	7.5	10.9	13.2	14.4
12.0	3.4	5.3	7.0	8.2	8.9	10.9	3.1	5.1	7.5	10.5	13.0	14.4
16.0	3.2	5.2	6.5	8.0	8.5	10.5	3.0	5.1	7.5	10.8	12.9	14.1
24.0	3.5	5.1	6.4	8.4	9.2	11.9	3.3	5.4	7.9	11.5	13.4	14.8
32.0	3.3	4.8	6.2	7.5	8.5	11.4	3.2	5.4	8.1	11.6	13.0	14.4
48.0	2.8	4.2	5.4	6.9	7.7	10.7	3.1	5.5	7.5	11.0	12.7	14.1
64.0	2.9	4.1	5.2	6.5	7.2	10.9	3.5	5.6	7.8	11.4	12.7	13.7
96.0	2.6	3.9	4.9	6.3	6.9	9.1	3.3	5.5	7.5	11.3	12.5	13.8
128.0	2.4	3.6	4.7	6.0	6.5	8.8	3.1	5.1	7.3	10.6	12.0	13.4

Таблица 3. Запас сосновых культур по вариантам опыта, м³

Густота посадки, тыс. шт./га	Возраст, лет					
	12	15	20	25	30	35
0.5	0.41	2.71	16.88	45.97	83.39	116.00
0.75	0.86	6.51	30.80	72.99	124.17	181.01
1.0	1.53	9.57	42.77	96.40	165.09	234.90
1.5	1.61	10.19	41.87	89.42	145.74	223.53
2.0	3.78	16.77	74.61	152.23	223.63	338.38
3.0	6.65	34.33	106.67	181.20	250.60	397.30
4.0	9.33	45.36	137.28	193.52	231.47	388.90
8.0	23.89	84.69	158.65	236.53	319.60	479.40
10.0	23.32	78.14	150.20	230.37	325.30	448.00
12.0	25.22	77.41	157.03	208.72	321.12	468.90
16.0	25.88	84.99	166.10	237.25	323.63	448.50
24.0	38.13	98.33	197.94	260.00	375.67	504.65
32.0	54.72	150.11	243.96	301.20	420.71	502.65
48.0	55.10	125.36	209.25	270.00	370.00	456.40
64.0	77.83	165.35	237.20	310.00	409.88	481.10
96.0	99.92	172.00	230.55	273.00	330.00	404.50
128.0	105.38	176.00	236.00	293.00	361.15	460.00

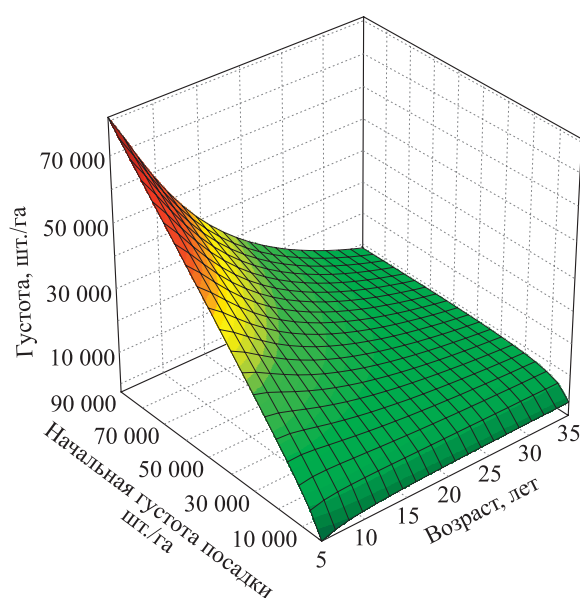


Рис. 1. Зависимость текущей плотности от возраста культур и начальной плотности посадки.

тивно аппроксимируется сочетанием степенной и логарифмической функций (1):

$$Nt = -25297 + 0.90 \times Nn - 1.3 \times Nn^{(1-1/A)} + 3383 \times \ln(Nn), \quad (1)$$

$$R^2 = 0.98; \sigma = 3277; F = 977,$$

где Nt – текущая плотность, шт./га; Nn – начальная плотность посадки, шт./га; A – возраст культур, лет; R^2 – коэффициент множественной детерминации; σ – стандартная ошибка уравнения шт./га; F – критерий Фишера.

Поскольку основной задачей формирования компенсационных посадок является их эффективность с позиций депонирования углерода, моделирование динамики прироста разнотных культур сосны представляет центральную задачу проводимых исследований. Учитывая существенную межвариантную изменчивость всех параметров разнотных культур, включая вариабельность показателей текущего годовичного прироста, исходные данные по 17 анализируемым вариантам опыта по плотности объединены в пять групп.

В первую группу, средняя плотность которой составила 1.15 тыс. шт./га, вошли варианты с начальной плотностью посадки 0.5, 0.75, 1.0, 1.5, 2.0 тыс. шт./га. Во вторую, третью, четвертую и пятую группы, средняя плотность которых в возрастающем порядке составила 7.4, 24.0, 56.0 и 112.0 тыс. шт./га, вошли варианты с начальной плотностью в (3.0, 4.0, 8.0, 10.0, 12.0); (16.0, 24.0,

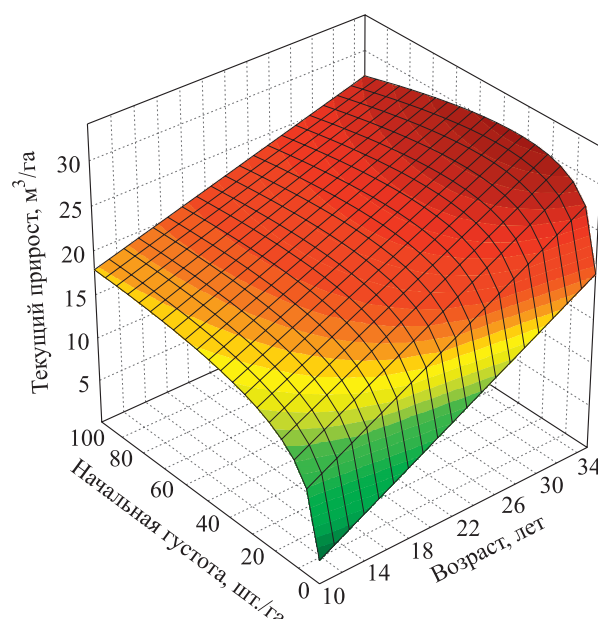


Рис. 2. Зависимость текущего ежегодного прироста от начальной плотности посадки культур и возраста.

32.0); (48.0, 64.0) и (96.0, 128.0) тыс. шт./га соответственно.

Аппроксимация экспериментальных данных комбинацией линейной и логарифмической функций позволила выявить зависимость текущего прироста от начальной плотности посадки и возраста культур, которая выражается следующим уравнением:

$$Pr = -4.26 + 4 \times \ln(Nn) - 0.0033 \times A \times Nn + 0.7 \times A, \quad (2)$$

$$R^2 = 0.75; \sigma = 3.48; F = 21.01,$$

где Pr – текущий прирост, м³/(га · год); Nn – начальная плотность посадки, тыс. шт./га; A – возраст культур, лет; R^2 – коэффициент множественной детерминации; σ – стандартная ошибка уравнения, м³/(га · год); F – критерий Фишера.

Анализ графических форм модели свидетельствует о том, что на начальном этапе роста древостоев наблюдается монотонное увеличение прироста с начальной плотностью посадки, с выходом на плато при плотности свыше 70.0 тыс. шт./га (рис. 2). Однако с возрастом эта тенденция трансформируется с проявлением оптимума начальной плотности посадки, который смещается к меньшей плотности. Так в 20-летнем возрасте максимум прироста наблюдается в вариантах посадки с начальной плотностью от 50.0 до 70.0 тыс. шт./га, а к 30 годам смещается на плотность от 30.0 до 50.0 тыс. шт./га.

Следует ожидать, что с увеличением возраста культур, которые будут выращиваться без

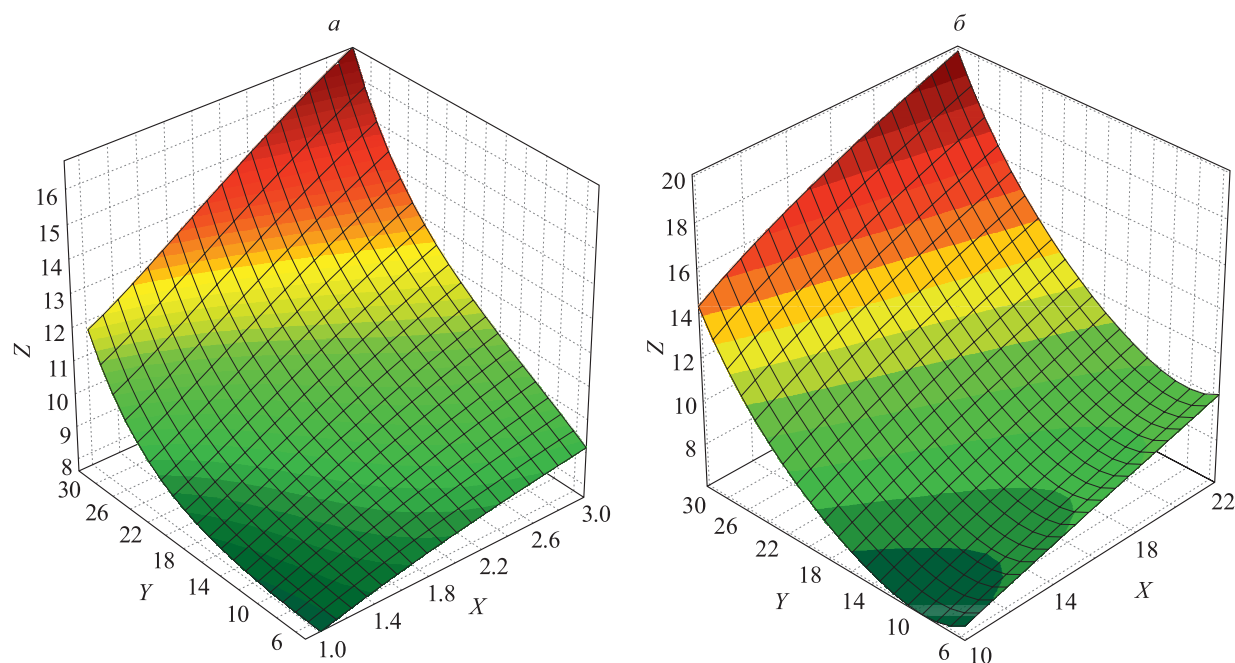


Рис. 3. Зависимость прироста (Z) от текущей густоты (X) и возраста (Y) при начальной густоте посадки 3.0 (a) и 90.0 ($б$) тыс. шт./га.

ухода, начальная густота посадки должна быть значительно ниже наблюдаемых в этом примере оптимумов. В этой связи практический интерес представляет также зависимость прироста от текущей густоты насаждений. С этой целью исходные данные вновь были обработаны методом множественного регрессионного анализа с учетом текущей густоты исследуемых древостоев.

В результате обработки средних сгруппированных по густоте данных получена зависимость среднего текущего периодического прироста древостоев, от их возраста, начальной густоты посадки и текущей густоты древостоя выраженная показательно-степенной функцией:

$$Pr = 7.07 + 0.266 \times Nt + 0.527 \times A^{(1-1/Nt)} + 0.034 \times 5^{(A/10)} - 0.14 \times Nn^{(1-1/A)}, \quad (3)$$

$$R^2 = 0.71; \sigma = 2.7; F = 12.4,$$

где Nt – текущая густота древостоя, тыс. шт./га; остальные обозначения см. в (2).

Учет текущей густоты, образовавшейся в процессе самоизреживания разнугустотных культур при оценке текущего прироста позволил повысить точность определения этого показателя. Стандартная ошибка снизилась с 3.48 до 2.7 м³/(га · год) (модель 2, 3). Графические формы модели (3) свидетельствуют об увеличении прироста с возрастом и текущей густотой,

как при низких, так и при высоких значениях начальной густоты посадки (рис. 3).

Следует отметить, что тенденция увеличения прироста с густотой ослабевает при текущей густоте выше 20.0 тыс. шт./га (см. рис. 2). Это свидетельствует о неких пределах увеличения прироста с повышением густоты стояния деревьев, особенно в культурах старше 20 лет.

В исследуемом интервале возрастов прослеживается также тенденция повышения прироста с увеличением начальной густоты посадки, однако она сохраняется только до значения в 30.0 тыс. шт./га. Дальнейшее увеличение начальной густоты посадки не сопровождается соответствующей реакцией текущего прироста, особенно с увеличением возраста лесных культур. Все это – проявление обострения конкуренции растений за ресурсы среды, что необходимо учитывать при создании лесных культур целевого назначения. Вероятно, что высокие темпы депонирования углерода на начальном этапе создания культур повышенной густоты могут сохраняться при условии периодических уходов регулирующих густоту насаждений.

Анализ динамики прироста разнугустотных культур с учетом процессов естественного самоизреживания (рис. 1) свидетельствует о том, что в 15-летнем возрасте наибольший прирост отмечался в культурах с максимальной густотой посадки (рис. 4).

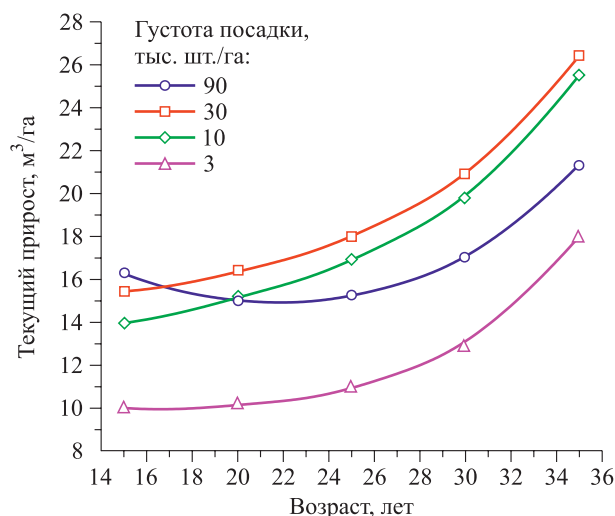


Рис. 4. Текущий прирост разногустотных культур при различной начальной густоте посадки.

По мере роста насаждений и усиления конкурентных отношений за ресурсы среды в культурах с максимальной густотой наметилась тенденция снижения прироста, проявившаяся в интервале возрастов от 15 до 20–24 лет. Затем в результате снижения конкуренции вследствие самоизреживания перегущенных культур их прирост стал повышаться, однако темпы его роста отставали от таковых у культур с меньшей густотой начальной посадки. По-видимому, оптимальной для молодняков сосны с точки зрения получения максимального прироста будет густота от 10 до 30 тыс. шт./га, хотя по мере роста, безусловно, потребуется проведение рубок ухода и снижение густоты до оптимумов в соответствующем возрасте (Онучин и др., 2022). Очевидно, что полученные модели, скорее всего, демонстрируют тенденции изменения прироста с учетом начальной густоты и возраста культур, хотя стандартные ошибки моделей вполне приемлемы для прогнозных оценок прироста древесины.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты модельных экспериментов, которые согласуются с экспериментальными данными, позволяют утверждать, что для создания культур, обеспечивающих максимальное депонирование углерода, начальная густота посадки должна находиться в диапазоне от 10.0 до 20.0 тыс. шт./га. Разумеется, культуры с большей начальной густотой посадки на начальных этапах роста будут обеспечивать лучший углерод депонирующий эффект, однако в возрасте 15–20 лет потребуется проведение рубок ухода,

направленных на снижение текущей густоты, по крайней мере, до 10.0 тыс. шт./га с повторным уходом через 10–15 лет и доведением густоты культур к 40-летнему возрасту, по крайней мере, до 5.0 тыс. шт./га.

Сложность лесокультурных работ состоит в том, что нужно учитывать не только назначение лесных культур, но и их биологическую устойчивость. При соблюдении этого принципа лесоразведения искусственные насаждения будут наиболее полно отвечать своему назначению.

Динамика годовичного прироста древесины, отражающая поглощение лесами атмосферного углерода, может служить научной основой обоснования вариантов лесопользования на основе модели интенсивного использования и воспроизводства лесов, гармонично сочетающих разные способы рубки с принципами устойчивого лесопользования в целях увеличения секвестра углерода.

Хотя основная цель компенсаций за выбросы углерода заключается в сокращении глобальных выбросов углерода, проекты лесовосстановления могут привести также к оздоровлению окружающей среды и улучшить качество воздуха, воды, условия жизни и здоровья населения. Эти дополнительные улучшения составляют сопутствующие выгоды и могут учитываться при оценке и сравнении лесных проектов, связанных с компенсацией выбросов углерода.

Исследование выполнено в рамках проекта «Развитие научно-образовательного Центра мониторинга климатически активных веществ (Углерод в экосистемах: мониторинг) в рамках Федеральной научно-технической программы в области экологического развития Российской Федерации и климатических изменений на 2021–2030 годы».

Авторы выражают благодарность научному сотруднику лаборатории лесоведения и почвоведения ИЛ СО РАН Д. С. Собачкину за помощь в сборе и обработке полевого материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бузыкин А. И. О географических и эдафо-фитоценологических факторах продуктивности лесов // Вопросы лесоведения. Красноярск, 1970. Т. 1. С. 80–91.
- Бузыкин А. И. О продуктивности лесов и уровнях регулирования // Проблемы лесоведения Сибири. М.: Наука, 1977. С. 7–24.
- Бузыкин А. И., Пшеничникова Л. С., Суховольский В. Г. Густота и продуктивность древесных ценозов. Новосибирск: Наука, 2002. 151 с.

- Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель Российской Федерации за 1995 год.* М.: Русслит, 1996. 120 с.
- Кретов Е. С. Эколого-географические ареалы сосны в культуре с оптимальной начальной густотой посадки на Европейской части СССР // *Лесная геоботаника и биология древесных растений.* Брянск, 1975. Вып. 3. С. 86–97.
- Кузьмичев В. В., Пшеничникова Л. С. Влияние плотности популяций сосны на изменчивость размеров деревьев // *Сиб. лесн. журн.* 2014. № 3. С. 150–156.
- Моисеев В. С. Таксация молодняков. Л.: ЛЛТА, 1971. 344 с.
- Онучин А. А., Собачкин Д. С., Собачкин Р. С., Петренко А. Е., Иванов В. В. Реакция средневозрастных сосняков Красноярской лесостепи на внесение азотных удобрений и изреживание // *Сиб. лесн. журн.* 2022. № 3. С. 15–23.
- Основы лесной биогеоценологии* / Под ред. В. Н. Сукачева и В. Н. Дылиса. М.: Наука, 1964. 574 с.
- Побединский А. В. Изучение лесовосстановительных процессов. М.: Наука, 1966. 60 с.
- Пшеничникова Л. С. Эффективность разнугустотного режима лесовыращивания культур сосны в южной тайге Средней Сибири // *Хвойные бореальной зоны.* 2018. Т. 36. № 6. С. 517–523.
- Региональные проблемы экосистемного лесоводства* / Под ред. А. А. Онучина. Красноярск: Ин-т леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 2007. 330 с.
- Родин А. Р. Культуры ели на вырубках. М.: Лесн. пром-сть, 1977. 169 с.
- Рубцов В. И. Культуры сосны в лесостепи центрально-черноземных областей. М.: Лесн. пром-сть, 1964. 316 с.
- Савич Ю. Н. О росте, продуктивности и устойчивости сосновых культур, созданных при различной густоте посадки // *Вопр. лесн. таксации.* 1978. Вып. 213. С. 27–38.
- Тимофеев В. П. Лесные культуры лиственницы. М.: Лесн. пром-сть, 1977. 216 с.
- Тимофеев-Ресовский Н. В., Воронцов Н. Н., Яблоков А. В. Краткий очерк теории эволюции. М.: Наука, 1969. 408 с.
- Углерод в экосистемах лесов и болот России / Под ред. В. А. Алексеева и Р. А. Бердси. Красноярск, 1994. 170 с.
- Усольцев В. А. Оценка показателей продуктивности в биогруппах разной густоты // *Лесоведение.* 1985. № 2. С. 62–72.
- Усольцев В. А., Маленко А. А. Лесные культуры разной начальной густоты. Сообщение 2. Анализ опытных посадок сосны обыкновенной // *Эко-потенциал.* 2014. № 3 (7). С. 34–47.
- Экологические проблемы поглощения углекислого газа посредством лесовосстановления и лесоразведения в России* / А. С. Исаев, Г. Н. Коровин, В. И. Сухих, С. П. Титов, А. И. Уткин, А. А. Голуб, Д. Г. Замолотчиков, А. А. Пряжников. М.: Центр экол. политики, 1995. 156 с.
- Brown S., Lugo A., Chapman J. Biomass of tropical tree plantations and its implications for the global carbon budget // *Can. J. For. Res.* 1986. V. 16. N. 2. P. 390–394.
- Hozumi K. Studies on the frequency distribution of the weight of individual trees in a forest stand. 3. A beta-type distribution // *Jap. J. Ecol.* 1971. V. 21. N. 3–4. P. 152–167.
- Hozumi K., Shinozaki K. Studies on the frequency distribution of the weight of individual trees a forest stand. II. Exponential distribution // *Jap. J. Ecol.* 1970. V. 20. N. 1. P. 1–9.

THE GROWTH SPECIFICS OF PINE CROPS OF VARIOUS DENSITY IN THE SIBERIAN SOUTHERN TAIGA

L. S. Pshenichnikova, A. A. Onuchin, R. S. Sobachkin, A. E. Petrenko

V. N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Science, Siberian Branch

*Federal Research Center Krasnoyarsk Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch
Akademgorodok, 50/28, Krasnoyarsk, 660036 Russian Federation*

E-mail: larisa-24pshenichnikova@yandex.ru, onuchin@ksc.krasn.ru, romans@ksc.krasn.ru, alcorsci@bk.ru

Received 03.11.2021

The dynamics of forest inventory indicators, attrition and wood growth of 35-year-old pine *Pinus sylvestris* L. crops with various density are analyzed, Pine crops were created in 1982 by V. N. Sukachev Institute of Forest Russian Academy of Sciences, Siberian Branch under the leadership of A. I. Buzykin on former agricultural lands in Bolshemurtinsky district of Krasnoyarsk Krai. The initial density of the stands varied in a wide range from 0.5 to 128.0 thousand trees per ha. The assessment of the stand density influence on the growth and productivity of young pine stands at the age of 2, 5, 12, 15, 20, 25, 30 and 35 years old was carried out. It has been established that since the age of five, the process of intensive self-thinning of trees has been observed, at initial planting density 90.0 thousand trees/ha the density decreased to 10 thousand trees/ha by the age of 35 years. At the initial density less than 10 thousand trees/ha the self-thinning intensity is significantly lower and the stand density has decreased by less than 2 times over the same period. It is shown that at the initial stage of stand growth there is a growth increase with the initial planting density, reaching the plateau at a density of over 70.0 thousand trees/ha. With age reaching the plateau occurs with the lower initial density. At the age of 20, the maximum increase was at the initial density from 50.0 to 70.0 thousand trees/ha, by the age of 30 it shifted to a density range from 30.0 to 50.0 thousand trees/ha. The relationship between the current annual increment, age, and the initial and actual densities of pine crops has been established. In the age range studied there is a tendency of increasing the increment with age, although for the crops with the initial density higher than 90 thousand trees per ha in the range of 15 to 22 years the decrease of annual increment is observed, which is evidently connected to the escalating of concurrent relations in cenosis. Thus, it can be suggested that high rates of carbon deposition at the initial stage of high-density stands creation can be maintained under the condition of periodic thinning, regulating the stand density.

Keywords: *carbon deposition, compensatory planting, pine crops, density, age dynamics, increment, modeling.*

How to cite: Pshenichnikova L. S., Onuchin A. A., Sobachkin R. S., Petrenko A. E. The growth specifics of pine crops of various density in the Siberian southern taiga // *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2022. N. 3. P. 24–33 (in Russian with English abstract).