

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ СТАТЬИ

УДК 630*562.2:631.841.7

РЕАКЦИЯ СОСНОВЫХ МОЛОДНЯКОВ КРАСНОЯРСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ НА ИЗРЕЖИВАНИЕ И ВНЕСЕНИЕ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ

А. А. Онучин, А. Е. Петренко, Д. С. Собачкин, Р. С. Собачкин

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

E-mail: onuchin@ksc.krasn.ru, alcorsci@bk.ru, dens@ksc.krasn.ru, romans@ksc.krasn.ru

Поступила в редакцию 09.02.2022 г.

В результате эксперимента по проведению рубок ухода разной интенсивности и внесения удобрений (карбамид, 46 % действующего вещества) в молодняках Красноярской лесостепи, сформировавшихся на бывших сельскохозяйственных угодьях, начальная густота которых составляла более 30 тыс. шт./га, получены данные о реакции ценозов на комплексный уход. Построены зависимости прироста от возраста и начальной густоты насаждений и от густоты и дозы удобрения. Показано, что при интенсивности разреживания 77 и 59 % по количеству деревьев через 10 лет необходимо проводить второй прием рубки ухода. Установлено, что отклик прироста на внесение удобрений наступает с 5-го года после их применения. Внесение удобрений позволяет снизить конкурентные отношения между деревьями за ресурсы среды, что позволяет перегушенным молоднякам обеспечивать максимально возможную продуктивность насаждения до определенного возраста. Полученные результаты могут быть использованы не только в решении лесоводственных задач по увеличению продуктивности насаждений, но и для повышения их углерод депонирующих функций.

Ключевые слова: рубки ухода, азотные удобрения, прирост, густота, запас

DOI: 10.15372/SJFS20220301

ВВЕДЕНИЕ

Среди задач, стоящих перед лесной наукой, наиболее актуален поиск оптимальных режимов лесовыращивания, которые обеспечивали бы максимальный прирост древесины и биомассы на единице площади в различных лесорастительных условиях. Продуктивность естественных древостоев в большинстве случаев не совпадает с их потенциально возможной. Причина этого заключается в конкурентных взаимоотношениях между деревьями за ресурсы среды, поэтому важным моментом в выращивании высокопродуктивных искусственных и естественных лесных насаждений является регулирование густоты, особенно на начальных этапах формирования древостоев, так как уже с первых лет

произрастания наблюдаются острые конкурентные взаимоотношения между растениями (Бузыкин, Пшеничникова, 1999).

Одним из путей повышения продуктивности древостоев считается проведение рубок ухода в разном возрасте. Целесообразность данного мероприятия обусловлена способностью лесной экосистемы к саморегуляции или ее устойчивостью, под которой понимают способность биологической системы сохранять свое состояние и функционирование при внешнем возмущении и при изменении системы, в том числе восстанавливать изъятую биомассу. Близкую к предельной некритической степени уменьшения биомассы можно считать мерой устойчивости (Новосельцев, 1978). В связи с этим представляют интерес допустимая степень разреживания, позволяю-

шая сохранить уровень продуктивности, и реакция древостоя на разреживание разной интенсивности (Сеннов, 1984).

Теоретические основы рубок ухода за лесом, изменение продуктивности, влияние на основные таксационные параметры древостоев и оценка экономической эффективности довольно хорошо освещены в литературе (Георгиевский, 1957; Воропанов, 1960; Савина, 1961; Изюмский, 1969; Давыдов, 1971; Полянский, Сеннов, 1975; Сеннов, 1977, 1984; Разин, Рогозин, 2010). Вместе с тем остается малоизученным вопрос, касающийся определения длительности эффекта рубок ухода в зависимости от интенсивности рубок ухода в молодняках и времени назначения последующего приема лесоводственного ухода. С учетом возраста и структуры молодняков целесообразно определение густотно-возрастных оптимумов продуктивности и интенсивности разреживания (Сеннов, 1984; Иванов и др., 2017; Онучин и др., 2022).

Другим способом повышения биологической продуктивности лесных насаждений является применение минеральных удобрений. Информация об отклике древесных ценозов на различные дозы минеральных удобрений важна для повышения их продуктивности, особенно в контексте реализации модели интенсивного использования и воспроизводства лесов (Мариничев, 2009; Федорец и др., 2018).

В этой связи будет интересен опыт проведения комплексного ухода – рубок ухода разной интенсивности и внесения минеральных удобрений для установления их эффективности и ее длительности и, в частности, для повышения углерод депонирующих функций насаждений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в экспериментальном хозяйстве «Погорельский бор» Института леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, которое территориально входит в Красноярскую островную лесостепь. Абсолютные высоты здесь колеблются в пределах 250–300 м. Климат резко континентальный, умеренно-прохладный, средняя годовая температура 1.7 °С. Продолжительность вегетационного периода 144 дня. Среднегодовое количество осадков 470 мм, с колебаниями в отдельные годы 320–630 мм (Агроклиматический справочник, 1961). Почвы дерново-подзолистые и серые лесные (Боболева, 1968).

Первый блок эксперимента включает исследования в сосновых молодняках первого класса возраста (состав – 10С, тип леса – сосняк разнотравный), сформировавшихся на бывших сельскохозяйственных угодьях. В массиве молодняков были заложены три пробные площади (пп) размером 20 × 20 м, на которых впоследствии проведены рубки ухода разной интенсивности по количеству стволов: 93 % (пп 1 – редкая, 2.9 тыс. шт./га), 77 % (пп 2 – средняя, 9.5 тыс. шт./га) и 59 % (пп 3 – густая, 16.8 тыс. шт./га). На контроле (пп 4) размер пробной площади составлял 20 × 15 м, с начальной густотой деревьев 40.7 тыс. шт./га. При этом обеспечивалось наличие буферных зон шириной не менее 5 м по всему периметру пробных площадей с соответствующей густотой. Рубки ухода выполнялись в конце мая 2009 г. исходя из принципов равномерного распределения оставшихся деревьев по площади и удаления в первую очередь деревьев из низших ступеней толщины (оставшие в росте и угнетенные).

Исследования проводились по общепринятым методикам (Побединский, 1966; Моисеев, 1971). На каждой пп выполнен сплошной перебор деревьев с замером диаметров на высоте 1.3 м. Число деревьев на пп варьировало от 116 до 1220 шт. Для определения основных средних таксационных показателей ценозов на каждой пп подбирались по 25–30 шт. модельных деревьев исходя из принципов равномерно-ступенчатой представленности,

Второй блок эксперимента заложен в 2010 г. в лесорастительных условиях, сопоставимых с таковыми первого блока. В дополнение к рубкам ухода применялись азотные удобрения. При рубках в первую очередь удалялись деревья, оставшие в росте, имеющие небольшие размеры по высоте и диаметру. Изреживание проводилось равномерно по площади. Блок состоял из шести пп. Размер каждой пп 0.04 га (20 × 20 м), с оставлением буферных зон. На трех пп без проведения рубок ухода было только внесено азотное удобрение (У) (карбамид, 46 % действующего вещества – д.в.) в дозах 100 кг д.в./га (У 100), 200 кг д.в./га (У 200) и 300 кг д.в./га (У 300). Начальная густота ценозов на пп с внесением удобрений на У 100 составляла 31.75 тыс. шт./га, на У 200 – 21.75 тыс., на У 300 – 27.45 тыс. шт./га. На других трех пп был внесен карбамид в тех же концентрациях и дозах соответственно и проведены рубки ухода (Р) – РУ 100, 200 и 300 с интенсивностью 30–50 % по количеству стволов. Густота ценозов после прореживания на

Таблица 1. Таксационная характеристика молодняков с уходами

Пп	Средний возраст, лет	Густота, шт./га	Средний диаметр, см	Средняя высота, м	Запас, м ³ /га	Сумма площадей поперечных сечений, м ² /га	Полнота
Редкая	18	2900	11.1	8.7	129	28.10	1.1
Средняя	18	8575	7.1	8.1	168	33.52	1.4
Густая	18	11850	5.9	8.1	167	32.16	1.3
РУ 300	18	9225	7.4	8.4	197	40.06	1.6
РУ 200	18	8300	8.0	8.7	204	42.12	1.7
РУ 100	18	9075	7.2	8.3	184	36.86	1.5
У 300	18	15175	5.8	7.8	207	39.68	1.6
У 200	18	12250	6.7	8.1	215	42.66	1.7
У 100	18	14050	5.9	7.7	195	38.59	1.6
Контроль	18	19333	5.2	7.7	211	40.70	1.7

РУ 100 составляла 14.00 тыс. шт./га, на РУ 200 – 10.65 тыс., на РУ 300 – 13.15 тыс. шт./га. На каждой пп проведен сплошной пересчет деревьев с обмером основных таксационных показателей у 25–30 шт. модельных деревьев по общепринятым в лесоводстве методикам. В табл. 1 приведены средние таксационные показатели через 10 лет после проведения ухода в первом и через 9 лет во втором блоках эксперимента.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Первый блок. До проведения рубок ухода молодняки сосны представляли собой чрезмерно загущенные ценозы. Средний диаметр деревьев составлял 1.9 см, средняя высота 2.1 м. Крона большинства деревьев плохо развита, ее средняя протяженность равна 1.0 м. 80 % всех деревьев находились в наименьшей степени толщины (1 см), и лишь 5.0 % имели диаметр 3.0 см и более. На всех пп, где были проведены рубки ухода, независимо от их интенсивности распределение деревьев по диаметру приблизилось к нормальному (имеет вид колоколообразных кривых) (рис. 1, а).

Таким образом, рубки ухода в сосновых молодняках, изначально очень сильно загущенных (около 30 тыс. шт./га), позволили существенно снизить конкуренцию между деревьями. Молодняки получили возможность активного дальнейшего роста и продуцирования биомассы. Однако в последующие годы отмечается снижение их эффекта, замедление ростовых процессов. Молодняки с интенсивностью рубки 59 и 77 % уже через 5 лет нуждались в повторной корректировке их структуры рубками ухода, поскольку стали обостряться конкурентные отношения, что потенциально сказывалось на снижении общей

продуктивности древостоев (Разин, Рогозин, 2010; Пшеничникова и др., 2022).

После проведения рубок ухода наименьшее значение среднего диаметра деревьев отмечалось на контроле и составляло 1.9 см, наибольшее – в редкой по густоте пп – 3.5 см, в средней и густой пп – 2.9 и 2.5 см соответственно (рис. 2, а).

Наименьший средний диаметр деревьев на контроле объясняется наличием значительной доли угнетенных деревьев, тогда как в редкой по густоте пп при максимальной интенсивности разреживания были оставлены преимущественно деревья, имеющие максимальные диаметры стволов деревьев и высоту и хорошо развитую крону.

Через 3 года после проведения рубок густота деревьев на контроле снизилась до 36.5 тыс. шт./га, густота ценозов не изменилась. Наименьшее значение среднего диаметра по-прежнему отмечалось на контроле и составляло 2.8 см, наибольшее – в редкой по густоте пп – 6.2 см, что в 2.3 раза больше по сравнению с контролем. Средний диаметр в средней по густоте пп составлял 4.5 см, что в 1.6 раз больше по сравнению с контролем, в густой пп – 3.5 см, в 1.3 раза больше, чем на контроле.

Через 5 лет после проведения рубок густота деревьев на контроле снизилась до 34.2 тыс. шт./га, густота разреженных ценозов не изменилась. Наименьшее значение среднего диаметра отмечалось на контроле и составляло 3.3 см, наибольшее – в редкой по густоте пп – 8.0 см, в 2.4 раза больше по сравнению с контролем. Средний диаметр в средней по густоте пп был равен 5.4 см, в 1.6 раз больше по сравнению с контролем, в густой пп – 4.2 см, в 1.3 раза больше, чем на контроле. Наибольший относительный прирост

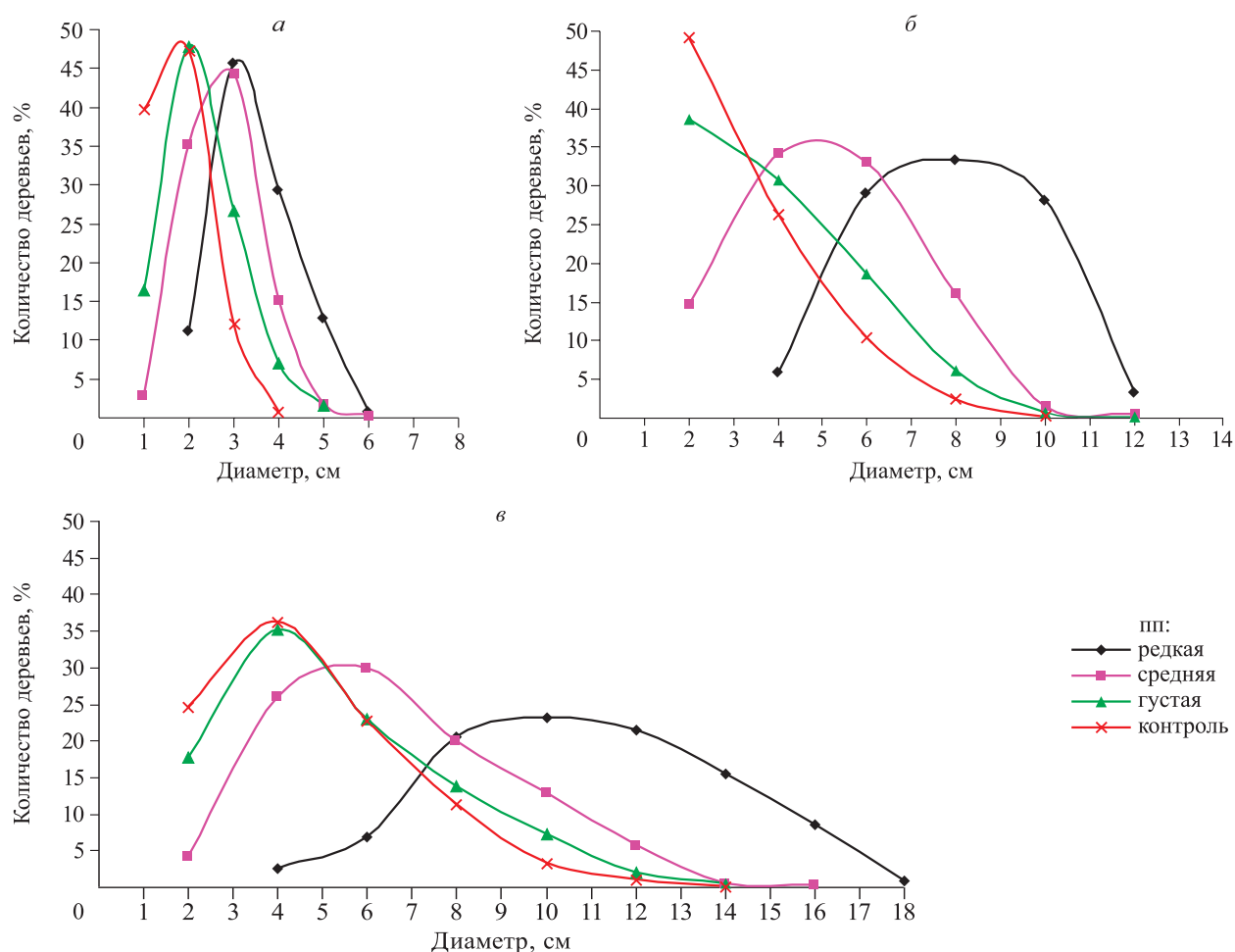


Рис. 1. Распределение относительного количества деревьев в сосновых молодняках по диаметру после рубки (а), через 5 (б) и 10 (в) лет.

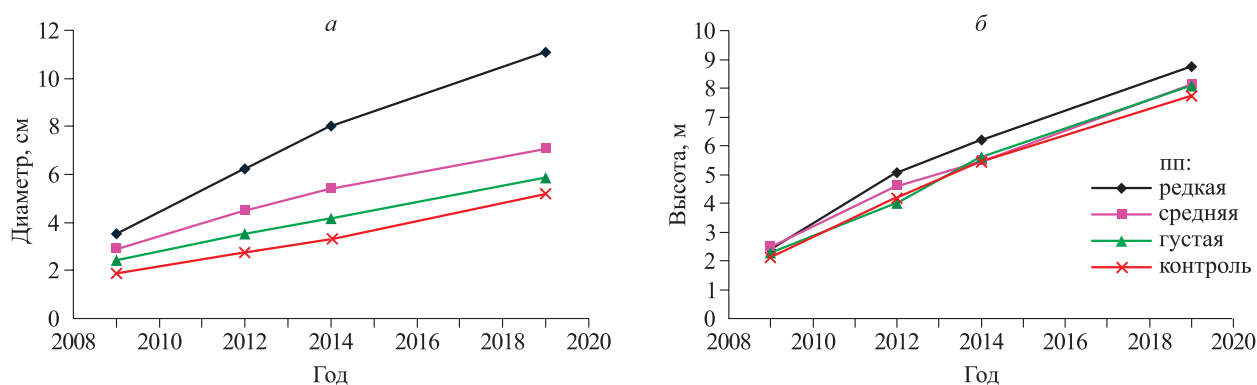


Рис. 2. Таксационные показатели в сосновых молодняках после рубок ухода.

по диаметру за 5-летний период после проведения рубок ухода отмечался в редкой по густоте пп – в 2.3 раза, приросты в средней, густой пп и на контроле были примерно одинаковыми: в 1.9, 1.7, 1.8 раза соответственно. Через 10 лет после рубок диаметр относительно контроля немного уменьшился по сравнению с предыдущим периодом: в 2.2, 1.4, 1.1 раза соответственно для

редкой, средней и густой пп. Относительный прирост за второй 5-летний период уменьшился в 1.3–1.4 раза для пп с проведенными рубками и в 1.6 раза на контроле.

После проведения рубок ухода наименьшее значение средней высоты деревьев в ценозах отмечалось на контроле и составляло 2.1 м, наибольшее – в средней по густоте пп – 2.5 м,

в редкой и густой пп – 2.4 и 2.3 м соответственно (рис. 2, б). Наименьшее значение средней высоты деревьев на контроле объясняется наличием значительной доли угнетенных невысоких деревьев.

Через 3 года после проведения рубок наименьшая средняя высота деревьев была в густой пп и составляла 4.0 м, наибольшая – в редкой и средней по густоте пп – 5.0 и 4.6 м соответственно, на контроле – 4.2 м.

Через 5 лет после проведения рубок наименьшее значение средней высоты деревьев отмечалось на контроле и средней по густоте пп – 5.5 и 5.4 м соответственно, наибольшее – в редкой по густоте пп – 6.2 м, в густой пп – 5.6 м. Наибольшие приросты в высоту были в редкой по густоте пп и на контроле – в 2.6 раза, наименьшие – в средней – в 2.2 раза, в густой пп – в 2.5 раза. Через 10 лет после рубки высота относительно контроля не изменилась. Относительный прирост за второй 5-летний период уменьшился в 1.42–1.49 раз для всех пп.

Прирост по запасу – одна из ключевых характеристик древостоев. Его увеличение может рассматриваться как критерий оценки обоснованности и успешности проведения лесохозяйственных мероприятий. Помимо практического аспекта, связанного с продуктивностью насаждений, увеличение прироста по запасу означает и увеличение депонирования углерода лесными экосистемами – реализацией одной из актуальных задач современности.

В результате обработки исходных данных методом множественного регрессионного анализа получена зависимость прироста от возраста и начальной густоты насаждений, которая выражается следующим уравнением:

$$P = -19.21 + 3.83 \times A - 0.1 \times A^2 + 0.039 \times A \times N - 0.0018 \times A^2 \times N, \quad (1)$$

$$R^2 = 0.97; \sigma = 1.31; F = 79.81,$$

где P – текущий периодический прирост, $\text{м}^3/(\text{га} \cdot \text{год})$; A – возраст насаждения, лет; N – густота древостоя на начало эксперимента, тыс. шт./га; R^2 – коэффициент множественной детерминации; σ – стандартная ошибка уравнения, $\text{м}^3/(\text{га} \cdot \text{год})$; F – критерий Фишера

Графическая форма модели (1) дает наглядное представление об изменении среднего годового прироста сосновых молодняков в различных вариантах опыта с возрастом. Анализ динамики прироста сосновых молодняков с различной начальной степенью изреживания свидетельствует о том, что с 9 до 14 лет прирост

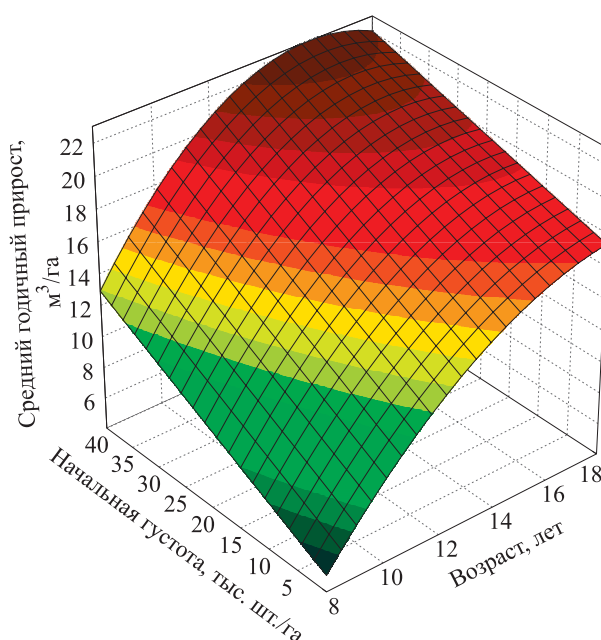


Рис. 3. Зависимость прироста от возраста и густоты на начало эксперимента.

увеличивается примерно одинаковыми темпами во всех вариантах опыта, включая контроль, где изреживание не проводилось. По истечении этого периода времени на контроле и в насаждении с минимальной интенсивностью изреживания темпы прироста снижаются, тогда как в вариантах опыта со средней и высокой степенью изреживания остаются практически прежними (рис. 3).

Таким образом, в перегушенных сосновых молодняках без проведения рубок ухода средний годичный прирост достигает максимума ($22 \text{ м}^3/\text{га}$) в возрасте 15–17 лет, а затем начинает снижаться (рис. 3). Несмотря на некоторое снижение прироста перегушенных молодняков после 17-летнего возраста, с точки зрения аккумуляции углерода они будут предпочтительнее разреженных ценозов, хотя с возрастом эта тенденция может измениться кардинальным образом (Онучин и др., 2022).

На основе сплошных переучетов деревьев на пробных площадях в сезоны 2009, 2012, 2014 и 2019 гг. была построена динамика запасов, а по полученным уравнениям регрессионных зависимостей восстановлены недостающие ежегодные значения запасов за 2009–2019 г. (рис. 4, а). Далее была рассчитана удельная продуктивность ($\text{м}^3/\text{га}$), которая определяется отношением

$$Z = \frac{\Delta M}{M} \times 100 \%, \quad (2)$$

где ΔM – прирост по запасу за текущий год, $\text{м}^3/\text{га}$; M – весь запас древостоя на данный момент, $\text{м}^3/\text{га}$.

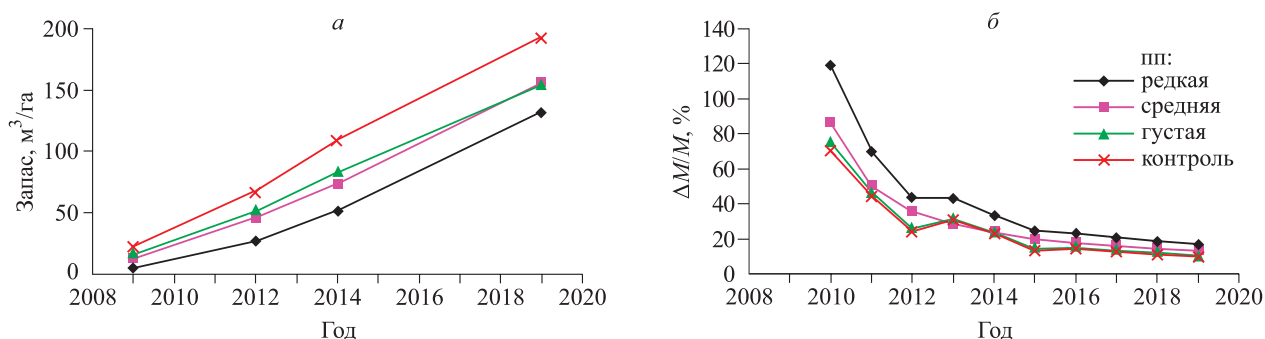


Рис. 4. Запасы (а) и удельная продуктивность (б) насаждений в 2009–2019 гг.

Данный показатель монотонно убывает с возрастом насаждения и независимо от его параметров может считаться относительно стабильным показателем продукционного процесса (Бузыкин и др., 1991). Подобный подход применяется также при расчете удельной чистой первичной продуктивности (Хабибуллина и др., 2013; Усольцев и др., 2015).

Динамика удельной продуктивности показывает, что эффект от рубки ухода, изначально выраженный тем больше, чем больше была ее интенсивность, заканчивается в 2012 г. на густой и средней по густоте пп, т. е. длится 3 года (рис. 4, б). В последующие годы, несмотря на различные абсолютные значения таксационных характеристик, тренды удельной продуктивности этих двух вариантов разреживания и контроля близки.

Второй блок. Как и в случае с первым блоком эксперимента, начальное состояние молодняков – загущенные ценозы. Густота, полученная в результате рубок ухода, соответствовала промежуточному варианту средней и густой пп из первого блока. Анализ распределений по диаметру показал «опережение» в росте через 4 года после начала эксперимента группы пп с проведенными рубками при отсутствии заметной разницы между дозами удобрений (рис. 5). Через 9 лет различия между пп сгладились.

Прирост по диаметру относительно контроля через 4 года увеличился в 1.5–1.8 раза для пп с рубками и удобрениями, в 1.2–1.3 раза для группы с удобрениями и в 1.4–1.6 и 1.1–1.3 раза соответственно через 9 лет (рис. 6, а). Относительное увеличение приростов за первые 4 и последующие 5 лет составляло 1.7–2.0 и 1.4–1.5 раза соответственно для всех пп независимо от типа воздействия.

Прирост в высоту относительно контроля практически не выражен – 0.9–1.1 раза для обоих периодов и всех пп, равно как и относительный прирост – 1.4–1.6 раза (рис. 6, б).

Эксперименты, связанные с влиянием удобрений на прирост молодняков сосны, свидетельствуют также о запаздывании реакции прироста на данный модифицирующий фактор. По истечении 4 лет после внесения удобрений не выявлено их влияния на средний периодический прирост, тогда как в последующие 5 лет тенденция его повышения с увеличением дозы удобрений просматривается достаточно отчетливо (рис. 7).

С учетом того что прирост является функцией целого комплекса экзогенных факторов, предпринята попытка выявить его зависимость от совместного влияния удобрений и рубок ухода в сосновых молодняках, которая выражается следующим уравнением:

$$P = 22.5 + 0.006 \times D \times \ln(N) - 0.41 \times \ln(D), \quad (3)$$

$$R^2 = 0.51; \sigma = 1.36; F = 2.14,$$

где P – текущий периодический прирост, м³/(га · год); D – доза внесения удобрений, кг/га; N – густота древостоя, тыс. шт./га; R^2 – коэффициент множественной детерминации; σ – стандартная ошибка уравнения, м³/(га · год); F – критерий Фишера

Анализ графической формы модели (3) (рис. 8) свидетельствует о повышении прироста с увеличением дозы вносимых удобрений. Следует также отметить, что позитивное влияние густоты на прирост в возрасте насаждений старше 18 лет начинает ослабевать (см. рис. 3), однако при внесении удобрений эта тенденция продолжает сохраняться (рис. 8).

Очевидно, это связано с тем, что за счет повышения плодородия почв конкурентные отношения между растениями за ресурсы среды становятся менее критичными и позволяют на единице площади успешно продуцировать большему числу растений, обеспечивая наивысшую интегральную продуктивность древостоя.

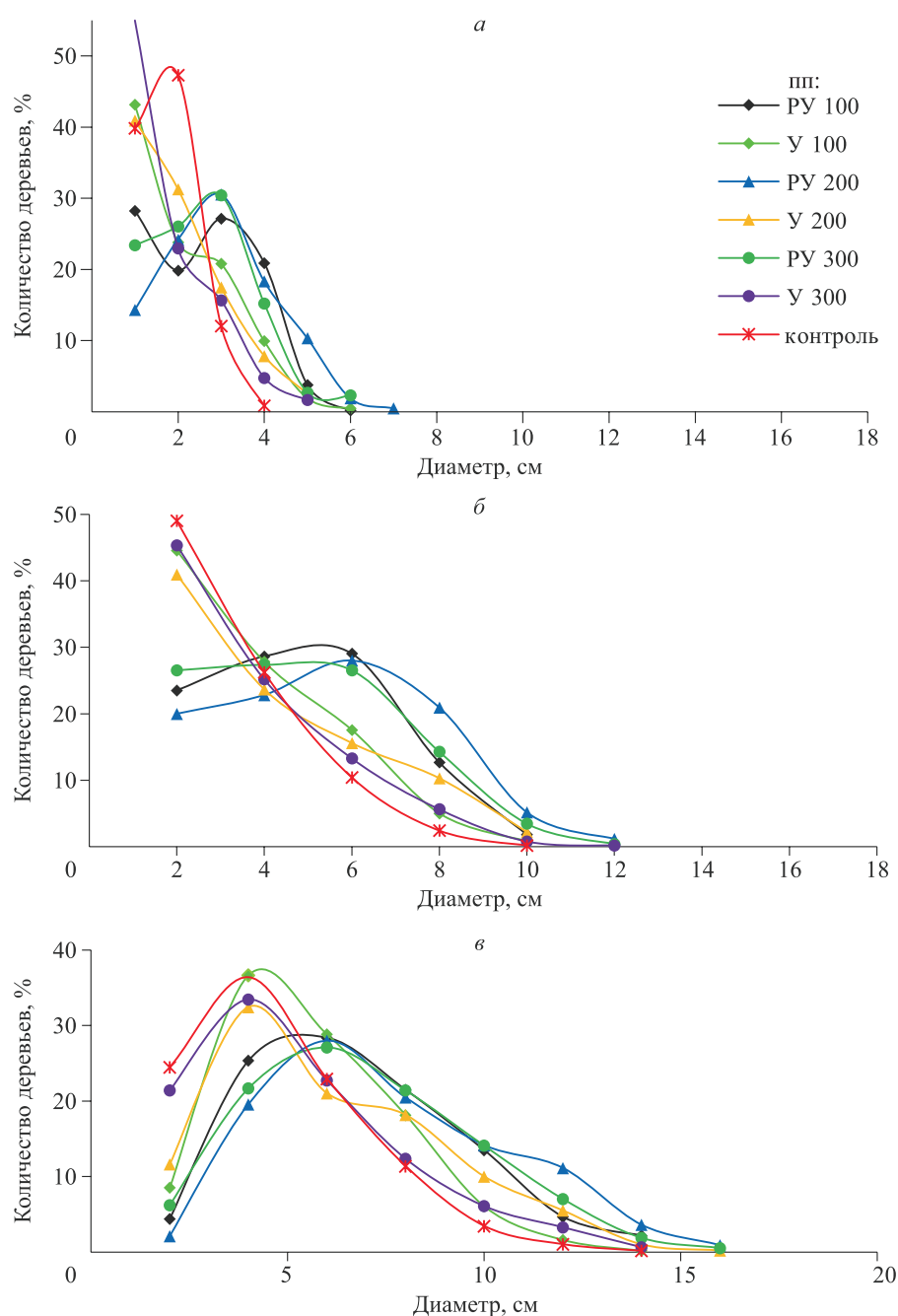


Рис. 5. Распределение по диаметру относительного количества деревьев в сосновых молодняках после внесения удобрений и рубок ухода (*a*), через 4 (*б*) и 9 (*в*) лет.

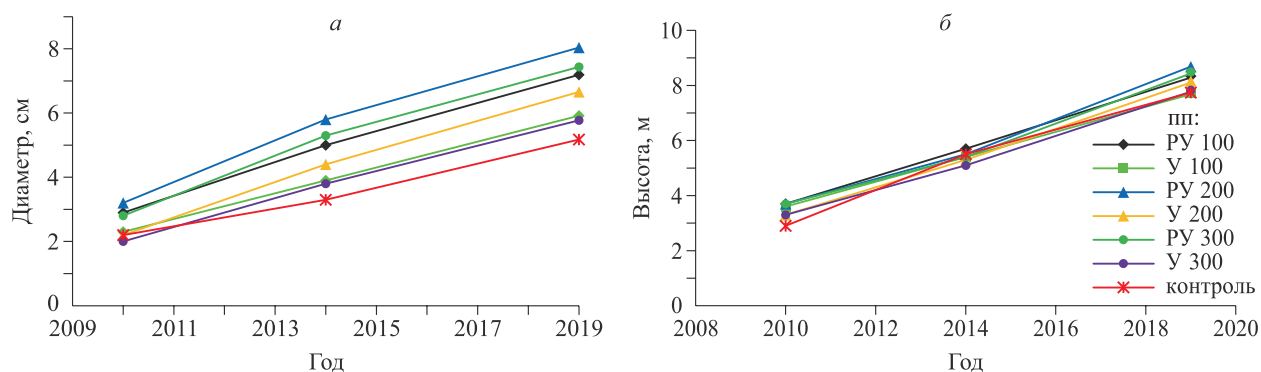


Рис. 6. Таксационные показатели в сосновых молодняках после внесения удобрений и рубок ухода.

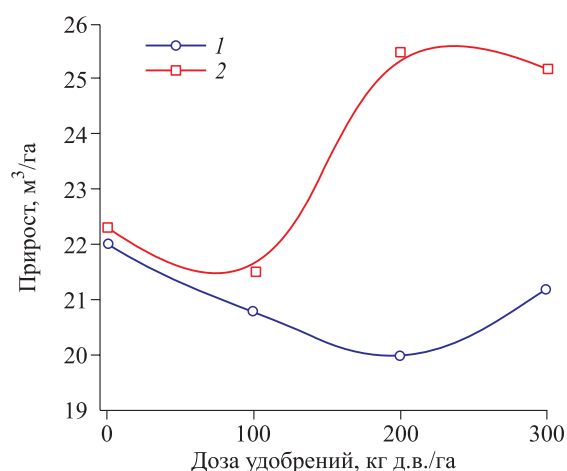


Рис. 7. Зависимость среднего периодического прироста от дозы удобрений в первые 4 года после внесения удобрений (1) и в последующие 5 лет (2).

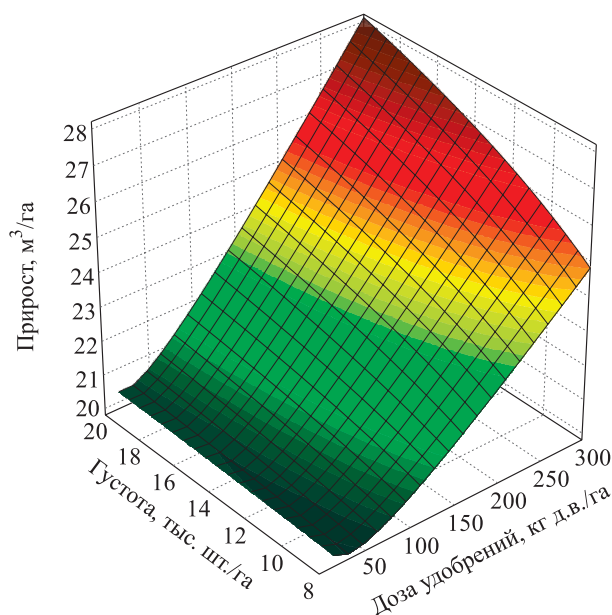


Рис. 8. Зависимость среднего периодического прироста от дозы удобрений в период их действия и густоты древостоев.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что через 5 лет после проведения рубок ухода в сосновых молодняках наибольший лесоводственный эффект достигнут в ценозе при интенсивности вырубki 93 %: средний диаметр деревьев увеличился с 3.54 до 8.03 см, что в 2.4 раза больше по сравнению с контролем, средняя высота деревьев возросла с 2.39 до 6.18 м, что в 1.1 раза больше по сравнению с контролем, прирост запаса стволовой древесины – в 10.2 раза, на контроле – в 4.9 раза. Рубки ухода в молодняках высокой интенсивности (93 %) снизили конкуренцию между де-

ревьями, способствовали увеличению площади питания и активному росту и развитию оставшихся деревьев.

Сосновые молодняки с интенсивностью разреживания 77 и 59 % по количеству деревьев (пп 2 и 3) испытывают острые стрессовые взаимоотношения между деревьями, и нуждаются в лесоводственных мероприятиях, направленных на снижение количества деревьев, ослабленных и отставших в росте для повышения продуктивности насаждений. Понижение удельной продуктивности этих насаждений до уровня контроля через 3 года после первого приема разреживания свидетельствует о том, что они полностью использовали предоставленный им пространственный ресурс и есть необходимость проведения в них дополнительного ухода.

Вместе с тем, если оценивать углерод депонирующие функции сосновых молодняков в лучших лесорастительных условиях, которым соответствуют условия Красноярской лесостепи, то следует отметить, что насаждения с наибольшей густотой до возраста 14–17 лет отличаются максимальным приростом древесины.

При этом внесение удобрений обеспечивает сохранение приоритета перегущенных молодняков в накоплении древесной массы по сравнению с разреженными. Такая ситуация обусловлена повышением плодородия почв, в результате чего конкурентные отношения между растениями за ресурсы среды становятся менее критичными. Это позволяет на единице площади успешно продуцировать большему числу растений, обеспечивая наивысшую интегральную продуктивность древостоя.

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».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Агроклиматический справочник по Красноярскому краю и Тувинской автономной области. Л.: Гидрометеиздат, 1961. 288 с.
- Боболева Э. С. К характеристике почвенного покрова Погорельского стационара // Исследования в лесах Сибири. Ч. 1. Красноярск: Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1968. С. 33–38.

- Бузыкин А. И., Исмагилов А. М., Суворова Г. Г., Щербатюк А. С. Оценка продуктивности деревьев и древостоев // Лесоведение. 1991. № 6. С. 16–25.
- Бузыкин А. И., Пишеничникова Л. С. Влияние густоты на морфоструктуру и продуктивность культур сосны // Лесоведение. 1999. № 3. С. 38–43.
- Воропанов П. В. О повышении общей продуктивности лесов рубками ухода. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1960. 156 с.
- Георгиевский Н. П. Рубки ухода за лесом. М.: Гослесбумиздат, 1957. 142 с.
- Давыдов А. В. Рубки ухода за лесом. М.: Лесн. пром-сть, 1971. 183 с.
- Иванов В. В., Борисов А. Н., Петренко А. Е., Семенкин Д. А., Собачкин Д. С., Собачкин Р. С. Густота сосновых древостоев при интенсивном лесовыращивании // Сиб. лесн. журн. 2017. № 6. С. 102–109.
- Изюмский П. П. Рубки промежуточного пользования в равнинных лесах. М.: Лесн. пром-сть, 1969. 152 с.
- Мариничев Е. А. Внесение минеральных удобрений на осушаемых торфяных почвах // Лесные ресурсы таежной зоны России: проблемы лесопользования и лесовосстановления: материалы Всерос. науч. конф. с междунар. участ. Петрозаводск, 2009. С. 201–202.
- Моисеев В. С. Таксация молодняков: Учеб. пособие. Л.: ЛЛТА, 1971. 344 с.
- Новосельцев В. Н. Теория управления и биосистемы: Анализ сохранительных свойств. М.: Наука, 1978. 320 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.
- Побединский А. В. Изучение лесовосстановительных процессов. М.: Наука, 1966. 64 с.
- Полянский Е. В., Сеннов С. Н. Опыт оценки экономической эффективности систем рубок ухода за лесом // Экономика труда и производства в лесном хозяйстве. Л.: ЛенНИИЛХ, 1975. № 23. С. 69–87.
- Пишеничникова Л. С., Онучин А. А., Собачкин Р. С., Петренко А. Е. Особенности роста сосновых культур разной густоты в условиях южной тайги Сибири // Сиб. лесн. журн. 2022. № 3. С. 24–33.
- Разин Г. С., Rogozin M. B. О законах и закономерностях роста и развития, жизни и отмирания древостоев // Лесн. хоз-во. 2010. № 2. С. 19–20.
- Савина А. В. Физиологическое обоснование рубок ухода. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1961. 98 с.
- Сеннов С. Н. Рубки ухода за лесом. М.: Лесн. пром-сть, 1977. 160 с.
- Сеннов С. Н. Уход за лесом. М.: Лесн. пром-сть, 1984. 127 с.
- Усольцев В. А., Субботин К. С., Кох Е. В., Богословская О. А. Биологическая продуктивность сосновых лесов Евразии: Исследование системных связей, обеспечивающих эффективность принятия решений в лесном секторе средствами IT-технологий. Екатеринбург: УГЛТУ, 2015. 157 с.
- Федорец Н. Г., Соколов А. И., Солодовников А. Н. Последствие минеральных удобрений в посевах сосны в долгосрочном эксперименте в Карелии // Лесоведение. 2018. № 5. С. 372–380.
- Хабидуллина Н. В., Усольцев В. А., Колтунова А. И. Удельная чистая первичная продукция древостоев и её связь с определяющими факторами // Изв. Оренбург. гос. агр. ун-та. 2013. № 5 (43). С. 210–213.

REACTION OF YOUNG PINE STANDS IN KRASNOYARSK FOREST-STEPPE TO THINNING AND APPLICATION OF NITROGEN FERTILIZERS

A. A. Onuchin, A. E. Petrenko, D. S. Sobachkin, R. S. Sobachkin

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: onuchin@ksc.krasn.ru, alcorsci@bk.ru, dens@ksc.krasn.ru, romans@ksc.krasn.ru

As a result of an experiment on thinning of different intensity and the application of fertilizers (carbamide, 46 % as the active ingredient) in the young stands of the Krasnoyarsk forest-steppe, formed on former agricultural land, with the initial density 30 thousand trees per ha, data were obtained on the response of cenoses to the complex treatment. Dependences of growth on the age and initial density of plantings, and on the density and dose of fertilizer were built. It is shown that on the plots with the thinning intensity of 77 and 59 % of the number of trees, after 10 years it is necessary to carry out a second thinning treatment. It has been established that the growth response to the application of fertilizers begins from the fifth year after their application. The application of fertilizers makes it possible to reduce the competition between trees for environmental resources, which allows overdense young stands to provide the maximum possible productivity up to a certain age. The results obtained can be used not only in solving forestry problems of increasing the productivity of plantations, but also to increase their carbon sequestration functions.

Keywords: *thinning, nitrogen fertilizer, increment, density, timber stock.*

How to cite: Onuchin A. A., Petrenko A. E., Sobachkin D. S., Sobachkin R. S. Reaction of young pine stands in Krasnoyarsk forest-steppe to thinning and application of nitrogen fertilizers // *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2022. N. 3. P. 6–14 (in Russian with English abstract).