

УДК 630\*221.04+630\*231+582.475.4+571.51

## ВЛИЯНИЕ ВЫБОРОЧНЫХ РУБОК НА ПРОДУКТИВНОСТЬ СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ В УСЛОВИЯХ КРАСНОЯРСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ

В. В. Иванов, Д. А. Семенякин

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

E-mail: viktor\_ivanov@ksc.krasn.ru, denis888@inbox.ru

*Поступила в редакцию 07.04.2020 г.*

Исследовали влияние первого приема несплошных рубок на общую продуктивность спелых сосновых древостоев в условиях лесостепной зоны Красноярского края. Представлены результаты влияния рубок от слабой до очень высокой интенсивности по запасу на величину текущего периодического прироста в спелых сосновых древостоях различной начальной полноты. В сосняках разнотравно-зеленомошных и бруснично-разнотравно-зеленомошных проведен сравнительный анализ среднего ежегодного периодического прироста по запасу за 5–10 лет после рубки. Установлено, что величина прироста обусловлена как интенсивностью рубки, так и начальной плотностью насаждений и варьирует в широких пределах (от 2.4 до 7.3 м<sup>3</sup>/га в год). На контроле эта величина составляла 2.6–4.9 м<sup>3</sup>/га в год. Выявлена положительная зависимость среднего текущего ежегодного прироста, приходящегося на 1 м<sup>3</sup> корневого запаса после первого приема, от интенсивности рубки. Для насаждений различной начальной плотности в возрасте 100–120 лет определены оптимумы изреживаний. Для начальной плотности 500, 600, 700 и 800 шт./га он будет равен соответственно 100 (20 %), 200 (33 %), 300 (43 %) и 400 шт./га (50 %), что может быть использовано при составлении практических рекомендаций по проведению рубок обновления и реформирования. При этом основным критерием степени изреживания древостоев является их целевое назначение – защитные леса и их состояние (естественное возобновление и устойчивость насаждения к ветровым нагрузкам).

**Ключевые слова:** *спелые сосняки, средний текущий периодический прирост, радиальный прирост, запас древостоя, несплошные рубки, естественное возобновление.*

DOI: 10.15372/SJFS20210106

### ВВЕДЕНИЕ

Сложившаяся практика ведения лесного хозяйства в Красноярском крае свидетельствует о недооцененности лесохозяйственного значения несплошных рубок, которые проводятся в значительно меньших объемах, чем это предусматривается лесоустройством. Это приводит к избыточной густоте древостоев, снижению продуктивности и потере дополнительного прироста, который можно получить за счет промежуточного пользования. Проводимые рубки в защитных лесах оказывают существенное влияние на улучшение качественного и санитарного состояния насаждений. Снижение средозащитных функций сосновых фитоценозов в спелых

и перестойных насаждениях является недопустимым явлением, которое требует неотложного вмешательства. Щадящий режим использования древесины с запретом на проведение выборочных и постепенных (несплошных) рубок приводит к необоснованному накоплению спелой и перестойной древесины (Ключников, 2000).

Для категории защитных лесов, где выборочные рубки запрещены, больше всего подходят несплошные рубки в спелых насаждениях (Белов, 1983), которые могут включать рубки обновления и реформирования, направленные на изменение возрастной структуры, состава и строения древостоев и на создание благоприятных условий для появления и роста молодых деревьев. По организационно-техническим эле-

ментам проведение первого приема несплошной рубки однотипно, вид и параметры рубки определяются в зависимости от характеристик насаждений и лесоводственных задач (Онучин и др., 2016).

Несмотря на то что сосна *Pinus L.* способна расти в самых разнообразных климатических условиях, недостаток или избыток термоэнергетических и гидрологических ресурсов отрицательно влияют на продуктивность сосновых лесов. Основной причиной снижения продуктивности сосновых насаждений является несоблюдение рациональных способов эксплуатации (Таран, 1973).

Существующие нормативы по интенсивности рубок и относительной полноте не в полной мере обеспечивают оптимальные параметры древостоев после рубок. Между тем оставляемая часть насаждения определяет сохранение средозащитных функций и продуктивность древостоя, соответствующего его целевому назначению. Для реализации потенциала эффективного роста в том или ином возрасте дерева должны иметь соответствующий доступный ресурс. Оптимальными считаются такие площади питания (области доминирования по А. Н. Борову, 2013), которые обеспечивают формирование деревьев 2-3-го классов Крафта. Такие деревья, как считает З. Я. Нагимов (2000), наиболее эффективно используют свои площади питания. Считается также, что древесина с высокими техническими свойствами формируется у деревьев, освещенность крон которых находится на среднем уровне, что как раз и будет соответствовать деревьям 2-3-го классов Крафта (Атрохин, Иевинь, 1985). В сосновом насаждении в возрасте 100–120 лет на экспериментальных участках разреживание древостоев привело не только к изменению значений таксационных показателей, но и к увеличению среднего текущего радиального прироста (Иванов и др., 2017).

Вопросы оптимизации структуры древостоев должны решаться с учетом лесорастительного районирования и типологической дифференциации, но основным критерием является их целевое назначение. В настоящее время признается хозяйственная целесообразность выращивания древостоев при оптимальной сумме площадей сечения, которая обеспечивается минимально возможным числом деревьев (Assmann, 1961). Товарная ценность таких древостоев будет выше за счет увеличения доли крупной деловой древесины. Изучение процессов формирования прироста древесины и анализ реакции деревьев

и древостоев на внешние воздействия становятся неотложными лесоводственными задачами (Кузьмичев, 1977). Дискуссионным остается вопрос о влиянии разреживания на конечную продуктивность древостоев и их способность восстанавливать запасы древесины, удаленной в результате проведения рубок. По сравнению с приростом запаса до рубки дополнительный его прирост более точно отражает реакцию древостоя на воздействие изучаемого фактора в пределах одного участка (Науменко, 1948; Дворецкий, 1964; Антанайтис, 1969; Лиена и др., 1977 и др.).

Цель работы – изучение влияния первого приема несплошных рубок на величину дополнительного текущего прироста оставшейся части спелых сосновых древостоев в условиях лесостепной зоны Красноярского края, а также отработка параметров рубок и лесоводственных требований к ним. На основе результатов комплексной оценки реакции насаждений на рубку будут разработаны рекомендации по уточнению нормативов проведения рубок обновления и перестройки в данных условиях.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в Красноярской лесостепи на территории экспериментального хозяйства «Погорельский бор» (координаты: N 56°21'34.63", E 92°58'52.83") в чистых по составу 120-летних сосновых насаждениях I-II классов бонитета, полнотой от 1.0 до 1.3, со средним диаметром ствола 29.7–38.9 см, высотой 23.0–27.9 м, запасом от 372 до 570 м<sup>3</sup>/га на четырех опытных участках, заложенных в сосняках разнотравно-зеленомошных и бруснично-разнотравно-зеленомошных по общепринятым методикам согласно ОСТ 56-69-83.

Разработка лесосек проводилась «методом узких лент» на базе бензомоторных пил трактора МТЗ-82 (лесохозяйственного исполнения). Отбор и назначение деревьев в рубку проводились с использованием действующих Правил ухода за лесами и шкалы оценки жизненного состояния деревьев по В. А. Алексееву (1990).

При оценке лесосечных работ и определении интенсивности рубки учитывали запас, вырубленный на волоках (технологических коридорах) и в пасеках. За счет использования открытых пространств и существующих дорог площадь погрузочных площадок составила менее 3 %. Таксационная характеристика древостоев до и после рубки представлена в таблице.

## Таксационная характеристика древостоев до и после рубки

№ участка	1	2	3			4	5	6
№ ПП	7	5	1	2	4	3	Контроль 1	Контроль 2
	<i>До рубки</i>							
Состав древостоя	10 С	10 С	10 Сед. Б	10 С	10 С	10 С	10 С	10 С
$H_{cp}$ , м	27.9	27.6	26.8	25.1	25.2	23.0	23.7	25.5
$D_{cp}$ , см	29.7	37.1	36.8	38.9	32.8	34.5	29.2	36.6
Густота, шт./га	659	462	397	311	426	388	863	402
Полнота	1.2	1.3	1.1	1.0	1.0	1.0	1.6	1.0
Бонитет	I	I	I	II	I	II	II	II
Запас, м <sup>3</sup> /га	487	570	500	375	372	377	576	489
	<i>После рубки</i>							
Состав древостоя	10 С	10 С	10 С	10 С	10 С	10 С	–	–
$H_{cp}$ , м	28.0	27.6	26.8	26.3	25.0	23.1	–	–
$D_{cp}$ , см	30.0	38.6	37.5	37.4	31.7	31.8	–	–
Густота, шт./га	528	304	274	219	301	226	–	–
Полнота	1.0	0.9	0.8	0.7	0.7	0.5	–	–
Бонитет	I	I	II	I	I	II	–	–
Запас, м <sup>3</sup> /га	389	408	324	241	244	177	–	–
Интенсивность рубки, %	20	28	35	36	35	53	–	–
	<i>Через 10 лет</i>	<i>Через 5 лет</i>						<i>Через 7 лет</i>
Состав древостоя	10 С	10 С	10 С	10 С	10 С	10 С	10 С	10 С
$H_{cp}$ , м	28.4	27.8	26.8	26.6	25.2	23.1	23.7	25.5
$D_{cp}$ , см	32.2	39.1	38.3	38.3	32.7	32.8	31.0	38.8
Густота, шт./га	528	304	274	218	301	226	767	384
Полнота	1.2	0.9	0.8	0.7	0.7	0.5	1.6	1.0
Бонитет	II	I	I	I	I	II	II	II
Запас, м <sup>3</sup> /га	462	432	339	253	261	198	589	523
Возраст, лет	125	120	120	125	110	110	125	123
Сумма поперечных сечений, м <sup>2</sup> /га	42.9	35.6	31.6	25.1	25.3	19.2	57.9	45.4
Видовое число	0.38	0.44	0.40	0.38	0.41	0.45	0.43	0.45
Текущий периодический прирост после рубки по запасу, м <sup>3</sup> /га	73.0	25.0	15.0	12.0	17.0	21.0	22.6	37.6
Средний текущий ежегодный прирост по запасу, м <sup>3</sup> /га	7.3	5.0	3.0	2.4	3.5	4.2	4.5	5.4

Примечание. ПП – пробная площадь,  $H_{cp}$  – средняя высота древостоя,  $D_{cp}$  – средний диаметр древостоя.

На каждом участке изучали текущий периодический прирост по запасу (м<sup>3</sup>), который определяли по диаметру, сумме площади поперечных сечений, по высоте, а также по соотношению этих показателей – видовому числу (Науменко, 1948; Дворецкий, 1964; Антанайтис, 1969; Лиэпа и др., 1977 и др.).

Для нахождения запаса древостоев применяли способ перечислительной таксации с закладкой постоянных ПП. Запас древостоев определяли по формуле общего запаса древостоя на

основе измерения абсолютной полноты и средней высоты для светолюбивых и теневыносливых пород по Н. П. Анучину (1982):

$$M = G (H + 3) \cdot F, \quad (1)$$

где  $G$  – сумма площадей поперечных сечений деревьев,  $H$  – средняя высота дерева,  $F$  – коэффициент, равный 0.40 для светохвойных древостоев, с использованием региональных таблиц для таксации сосновых древостоев (Сортиментные и товарные таблицы..., 1991).

Для определения относительной полноты использовали стандартную таблицу полноты и запасов ЦНИИЛХ. Бонитет древостоев определялся по бонитировочной шкале для семенных насаждений М. М. Орлова (1925).

Для оценки радиального прироста на участках, пройденных несплошной рубкой 5- и 10-летней давности и на контроле, в пределах каждой ПП взяли по 30 кернов на высоте 1.3 м. Ширину годичных колец измеряли на микроскопе МИР-12 с точностью 0.01 мм.

Статистический анализ данных проводили в программах Excel и Statistica.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведения первого приема несплошной рубки интенсивностью от 20 до 53 % по запасу через 5–10 лет средний диаметр стволов составил 32.2–39.1 см, средняя высота – 23.1–28.4 м, запас – 198–462 м<sup>3</sup>/га, относительная полнота – 0.5–1.2.

На основании полученных данных по изучению реакции деревьев и древостоев на несплошную рубку чистых по составу сосновых насаждений на всех экспериментальных участках выявлено увеличение текущего радиального прироста. Изменение текущего ежегодного прироста после несплошной рубки зависит от

интенсивности разреживания древостоя. Для условий лесостепи характерны значительные периодические изменения прироста, поэтому для сглаживания этих изменений текущий периодический прирост за равный промежуток времени сравнивали с приростом на контроле. Наиболее интенсивный прирост по запасу наблюдается на 3-4-й год после рубки. Период адаптации (стресса) после рубки занимает от 1 до 2 лет (рис. 1).

Полученные результаты свидетельствуют о том, что средний текущий периодический прирост по запасу в исследуемых насаждениях после проведения рубок различной интенсивности варьирует от 2.4 до 7.3 м<sup>3</sup>/га в год. На контроле эта величина варьирует от 4.5 до 5.4 м<sup>3</sup>/га в год (см. таблицу). Очевидно, что реакция прироста на проведение несплошной рубки обусловлена комплексом факторов, включающим как интенсивность изреживания, так и таксационные характеристики древостоев до рубки (запас, густоту, полноту и др.). Поскольку объем исследуемой выборки невелик, а таксационные характеристики древостоев существенно разнятся вне зависимости от интенсивности рубок, то явные тенденции влияния на прирост тех или иных факторов в чистом виде выявить довольно сложно. В силу этого нами предпринята попытка оценить влияние рубок на величину прироста с привязкой к 1 м<sup>3</sup> корневого запаса оставшейся

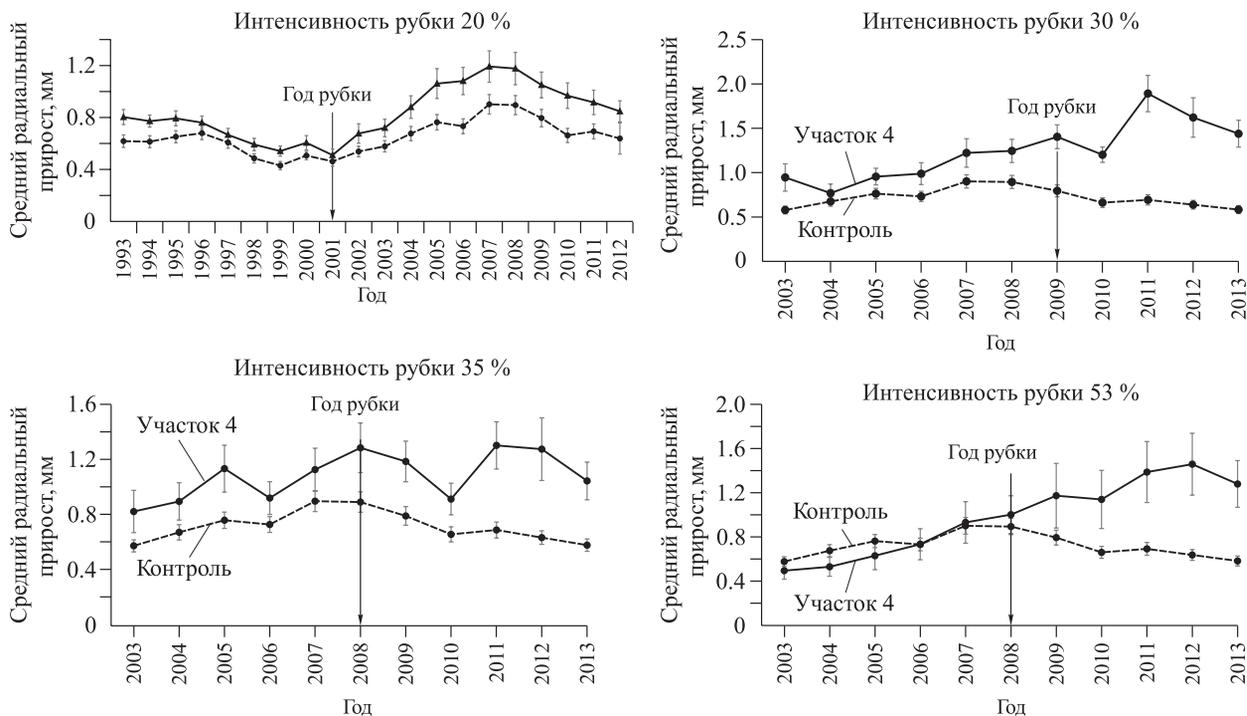


Рис. 1. Средний ежегодный радиальный прирост в сосняках разнотравно-зеленомошных и бруснично-разнотравно-зеленомошных.

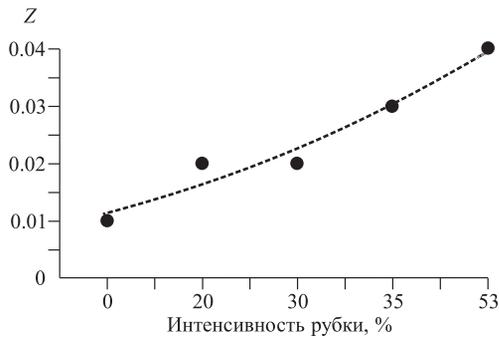


Рис. 2. Зависимость прироста от интенсивности рубки по запасу.

после рубки части древостоя. По нашему мнению, такой подход позволяет сопоставить величину прироста запаса древесины в древостоях с разными таксационными характеристиками после рубки и оперировать относительными величинами прироста, которые полезны для выявления тенденций изучаемого процесса.

В исследуемых пределах разреживания и полноты спелых сосновых древостоев наблюдается положительная связь среднего текущего периодического прироста запаса древостоя с интенсивностью рубки. Как видно из рис. 2, максимальных значений он достигает при интенсивности рубки 53 %.

Средний текущий периодический прирост по запасу на 1 м<sup>3</sup> древесины (Z) рассчитывался как

$$Z = \frac{M_{A+t} - M_A}{t \cdot M_A}, \quad (2)$$

где  $M_A$  – запас после рубки, м<sup>3</sup>/га;  $M_{A+t}$  – запас через  $t$  лет после рубки, м<sup>3</sup>/га;  $t$  – временной интервал учета после рубки, лет.

Выявленная тенденция позволяет оценить различия в реакции прироста на изреживание насаждений, обусловленные особенностями структуры древостоев и их таксационными характеристиками. В этой связи предпринята попытка выявить влияние интенсивности изреживания древостоев на прирост с учетом их начальной плотности.

Обработка исходных данных методом множественного регрессионного анализа позволила получить модель, отражающую закономерности изменения прироста в зависимости от начальной плотности древостоев и интенсивности рубки:

$$\begin{aligned} P &= -6.49 + 0.0432(N - I) - \\ &- 0.00004(N - I)^2 + 0.011I, \quad (3) \\ R^2 &= 0.86; G = 0.8; F = 10.7, \end{aligned}$$

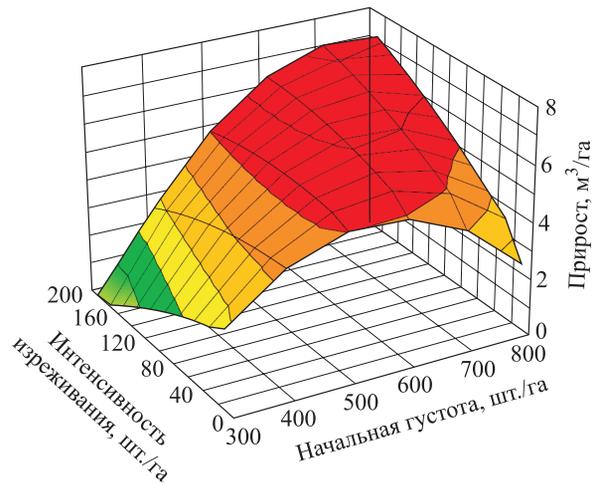


Рис. 3. Зависимость прироста от интенсивности рубки и начальной плотности древостоя.

где  $P$  – текущий периодический прирост, м<sup>3</sup>/га в год;  $I$  – интенсивность изреживания, шт./га;  $N$  – плотность древостоя до рубки, шт./га;  $R^2$  – коэффициент множественной детерминации;  $G$  – стандартная ошибка уравнения, м<sup>3</sup>/га в год;  $F$  – критерий Фишера.

Анализ графической формы модели свидетельствует о том, что с увеличением интенсивности изреживания от 40 до 200 шт./га в насаждениях плотностью выше 600 шт./га отмечено повышение прироста, а плотностью ниже 500 шт./га – его снижение (рис. 3).

С целью обоснования оптимальных значений изреживания в насаждениях различной плотности выполнены численные эксперименты с моделью (3). Полученные результаты свидетельствуют о том, что для каждой начальной плотности может быть определен оптимум изреживания с целью получения максимального прироста. Для начальной плотности 500, 600, 700 и 800 шт./га он будет равен соответственно 100 (20 %), 200 (33 %), 300 (43 %) и 400 шт./га (50 %) (рис. 4), что согласуется с данными предыдущих исследований (Борисов и др., 2014а, б; Иванов и др., 2017, 2019).

Полученные результаты могут использоваться при составлении рекомендаций по интенсивности несплошных рубок в сосновых насаждениях. Необходимо отметить, что при проведении первого приема рубки в защитных лесах следует ориентироваться не только на прирост запаса древостоев, но и на количественные и качественные характеристики подраста сосны и сохранение устойчивости насаждения к ветровым нагрузкам.

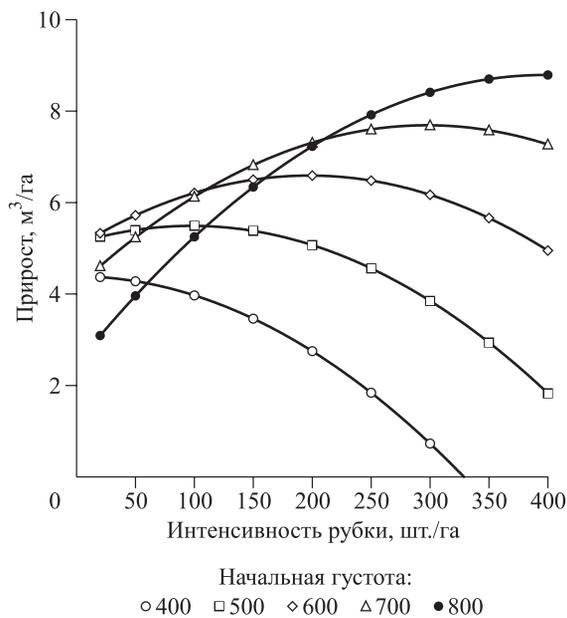


Рис. 4. Зависимость прироста от интенсивности рубки в насаждениях разной начальной густоты.

В литературе встречаются разные мнения по вопросу о том, до какого возраста возможно увеличение прироста по диаметру при помощи лесоводственных методов. Некоторые исследователи пришли к выводу, что у приспевающего и спелого древостоев отклик по запасу может быть несущественным, влияние рубок на рост древостоев можно установить только на основе длительных наблюдений (Сеннов, 1999, 2005), а со 160 лет древостой начинают интенсивно усыхать из-за неспособности адаптироваться к изменившимся условиям среды (Валяев и др., 1971). Другие авторы также считают, что высокополнотные спелые древостой, уже прошедшие период максимальной сомкнутости крон, не способны давать прирост после рубки из-за малообъемных крон, однако регулярным своевременным разреживанием древостоя, начиная от молодняка до спелости, можно увеличить производительность древостоя на I-II класса бонитета (Рогозин, Разин, 2015). Наши экспериментальные данные показывают, что деревья в возрасте 100–120 лет еще способны после несплошной рубки увеличивать текущий радиальный прирост в течение 10–15 лет.

Если принять, что значения прироста будут сохраняться длительное время, то первоначальный запас дорубочного периода в зависимости от интенсивности первого приема рубки восстановится на первом экспериментальном участке (интенсивность рубки 20 %) за 13 лет, на втором (интенсивность рубки 30 %) – за 30 лет, на

третьем (интенсивность рубки 35 %) и четвертом (интенсивность рубки 53 %) – за 40–50 лет, что и могло бы определить время проведения второго приема несплошной рубки. Однако, учитывая, что через 40–50 лет под пологом древостоев, пройденных рубками, сформируется молодое поколение леса, рост которого будет подавляться материнским пологом, а также то, что при проведении второго приема рубки не избежать значительного повреждения молодых деревьев, интервал между первым и вторым (заключительным) приемом рубки, при котором будет полностью вырублена оставшаяся часть древостоя, желательно сократить до 10–15 лет.

Необходимо отметить, что количественные показатели подроста на участках после рубки были выше по сравнению с контролем, из генераций предварительного возобновления лучше сохранились мелкий подрост, всходы и самосев. Лучшая сохранность предварительной генерации подроста отмечена на участке 2 при 30%-й вырубке древостоя. Более высокая численность возобновления наблюдалась на участках 3 и 4 с интенсивностью рубки 35 и 53 % соответственно. На участке 1 отмечено большое количество мелкого и среднего подроста последующей генерации, появившегося после рубки, и при такой высокой густоте подроста всходы и самосев на участке отсутствовали.

При оценке качественной характеристики подроста выявлено, что на участках 2, 3 и 4 возобновление до и после рубки не испытывало заметного угнетения в отличие от участка 1 (интенсивность рубки 20 %), где на 10-й год после рубки насчитывалось большое количество ослабленного, усыхающего и сухого подроста, что может свидетельствовать о недостатке освещения и необходимости проведения второго приема несплошной рубки. Угнетение подроста связано не только с резким изменением условий после рубки и хорошо развитым ярусом трав, но и с высокой его густотой и конкурентным воздействием на него материнского древостоя, из-за чего ежегодно может отмирать 13–38 тыс. шт./га, что наблюдал также П. М. Ермоленко (1987). Многие исследователи отмечают, что сомкнутость полога материнского древостоя является немаловажным фактором, влияющим на колебание количества благонадежного подроста в пределах насаждения. Как известно, оптимальная сомкнутость различна для разных древесных пород на разных этапах возобновления и в различных лесорастительных условиях. Для самосева сосны более благоприятная обста-

новка создается при сомкнутости 0.5–0.6 в восточных, южных и западных районах края, а в северных – 0.4 (Мелехов, 1980, 2003; Мякушко и др., 1989; Ковылин, Ковылина, 2006 и др.).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выявлена положительная связь величины среднего текущего периодического прироста древостоя по запасу ( $\text{м}^3/\text{га}$ ) с его начальной плотностью и степенью изреживания, а также положительная зависимость среднего текущего ежегодного прироста, приходящегося на  $1 \text{ м}^3$  корневого запаса, с интенсивностью рубки. Для насаждений различной начальной плотности определены оптимумы изреживаний. Анализ графической формы модели свидетельствует о том, что в насаждениях плотностью выше 600 шт./га с увеличением интенсивности изреживания от 40 до 200 шт./га наблюдается повышение прироста. В насаждениях с плотностью ниже 500 шт./га изреживание сопровождается снижением прироста.

С целью обоснования оптимальных значений изреживания в насаждениях различной плотности выполнены численные эксперименты с моделью. Полученные результаты свидетельствуют о том, что для каждой начальной плотности может быть определен оптимум изреживания с целью получения максимального прироста. При этом основным критерием степени изреживания древостоев является их целевое назначение – защитные леса, их состояние, естественное возобновление и сохранение устойчивости насаждения к ветровым нагрузкам.

*Работа выполнена в рамках базового проекта «Теоретические основы сохранения экологического и ресурсного потенциала лесов Сибири в условиях возрастающего антропогенного пресса и климатических аномалий» № АААА-А17-117101940014-9 (0356-2019-0027). Лаборатории: лесоведения и почвоведения, таксации и лесопользования, лесной пирологии, техногенных лесных экосистем. Код ГРНТИ: 34.35.25 «Биоценозы. Экосистемы». ОЭСР: 01.06.00 Biological sciences.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ (REFERENCES)

*Алексеев В. А.* Диагностика повреждений деревьев и древостоев при атмосферном загрязнении и оценка их жизненного состояния // Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1990. С. 38–53 [*Alekseev V. A.* Diagnostika povrezhdeniy derevyev i drevostoev pri atmosfernom zagryaznenii i otsenka ikh zhiznennogo sostoyaniya // Lesnye ekosistemy i atmosfernoye zagryaznenie. L.: Nauka. Leningrad. otd-nie, 1990. P. 38–53].

*derevyev i drevostoev pri atmosfernom zagryaznenii i otsenka ikh zhiznennogo sostoyaniya (Diagnostics of damage to trees and stands due to atmospheric pollution and assessment of their vital condition) // Lesnye ekosistemy i atmosfernoye zagryaznenie (Forest ecosystems and atmospheric pollution). Leningrad: Nauka. Leningrad. otd-nie (Sci. Leningrad Br.), 1990. P. 38–53 (in Russian)].*

*Антанайтис В. В.* Прирост леса. М.: Лесн. пром-сть, 1969. 240 с. [*Antanaytis V. V.* Prirost lesa (Increment of forest). Moscow: Lesn. prom-st (Timber Industry), 1969. 240 p. (in Russian)].

*Анучин Н. П.* Лесная таксация. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 552 с. [*Anuchin N. P.* Lesnaya taksatsiya (Forest inventory). Moscow: Lesn. prom-st (Timber Industry), 1982. 552 p. (in Russian)].

*Атрохин В. Г., Иевинь И. К.* Рубки ухода и промежуточное лесопользование. М.: Агропромиздат, 1985. 255 с. [*Atrokhin V. G., Ievin I. K.* Rubki ukhoda i promezhutochnoe lesopolzovanie (Care felling and intermediate forest use). Moscow: Agropromizdat, 1985. 255 p. (in Russian)].

*Белов С. В.* Лесоводство: учеб. пособ. для вузов по спец. «Лесн. хоз-во». М.: Лесн. пром-сть, 1983. 351 с. [*Belov S. V.* Lesovodstvo: ucheb. posob. dlya vuzov po spets. «Lesn. khoz-vo» (Silviculture: textbook for higher educ. inst. on spec. Forestry). Moscow: Lesn. prom-st (Timber Industry), 1983. 351 p. (in Russian)].

*Борисов А. Н.* Метод оценки распределения ресурса между деревьями в древостое // Состояние лесов и актуальные проблемы лесопользования: мат-лы Всерос. конф. с междунар. участ., Хабаровск, 10–11 окт. 2013 г. / Отв. ред. А. П. Ковалев. Хабаровск: ДальНИИЛХ, 2013. С. 293–296 [*Borisov A. N.* Metod otsenki raspredeleniya resursa mezhdu derevyami v drevostoe (Method for assessing the distribution of resources between trees in a stand) // Sostoyanie lesov i aktualnye problemy lesoupravleniya: mat-ly Vseros. konf. s mezhdunar. uchast., Khabarovsk, 10–11 okt. 2013 / Otv. red. A. P. Kovalev (State of the forests and actual problems of forest management: Proc. All-Rus. Conf. Int. Participat., Khabarovsk, 10–11 Oct. 2013 / A. P. Kovalev (Resp. ed.)). Khabarovsk: DalNILKH (Far East For. Res. Inst.), 2013. P. 293–296 (in Russian with English title and summary)].

*Борисов А. Н., Иванов В. В., Екимов Е. В.* Метод оценки пространственного распределения ресурса в экологической нише // Сиб. лесн. журн. 2014а. № 5. С. 113–121 [*Borisov A. N., Ivanov V. V., Ekimov E. V.* Metod otsenki prostranstvennogo raspredeleniya resursa v ekologicheskoy nishе (The method for evaluation of the resource space distribution in ecological niche) // Sib. lesn. zhurn. (Sib. J. For. Sci.). 2014a. N. 5. P. 113–121 (in Russian with English abstract)].

*Борисов А. Н., Иванов В. В., Петренко А. Е.* Оценка реакции сосновых древостоев Красноярской лесостепи на рубку ухода // Лесоведение. 2014б. № 4. С. 22–27 [*Borisov A. N., Ivanov V. V., Petrenko A. E.* Otsenka reaktsii sosnovykh drevostoyev Krasnoyarskoy lesostepi na rubku ukhoda (The estimation of pine stand's response to thinning in Krasnoyarsk forest-steppe) // Lesovedenie (For. Sci.). 2014b. N. 4. P. 22–27 (in Russian with English abstract)].

- Валяев В. Н., Синькевич М. С., Рябинин Н. И. Выборочные и постепенные рубки в сосновых лесах Карелии // Лесн. хоз-во. 1971. № 1. С. 32–34 [Valyayev V. N., Sinkevich M. S., Ryabinin N. I. Vyborochnye i postepennye rubki v sosnovykh lesakh Karelii (Selective and gradual logging in the pine forests of Karelia) // Lesn. khoz-vo (Forestry). 1971. N. 1. P. 32–34 (in Russian)].
- Дворецкий М. Л. Текущий прирост древесины ствола и древостоя. М.: Лесн. пром-сть, 1964. 125 с. [Dvoretzky M. L. Tekushchy prirost drevesiny stvola i drevostoya (Current increment of stem wood and of the tree stand). Moscow: Lesn. prom-st (Timber Industry), 1964. 125 p. (in Russian)].
- Ермоленко П. М. Сосновые леса Восточного Саяна. Красноярск: Ин-т леса и древесины им В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1987. 147 с. [Ermolenko P. M. Sosnovye lesa Vostochnogo Sayana (Pine forests of the Eastern Sayan). Krasnoyarsk: In-t lesa i drevesiny im. V. N. Sukacheva SO AN SSSR (V. N. Suakhev Inst. For. & Timber, Sib. Br. USSR Acad. Sci.), 1987. 147 p. (in Russian)].
- Иванов В. В., Борисов А. Н., Петренко А. Е., Семенякин Д. А., Собачкин Д. С., Собачкин Р. С. Густота сосновых древостоев при интенсивном лесовыращивании // Сиб. лесн. журн. 2017. № 6. С. 102–109 [Ivanov V. V., Borisov A. N., Petrenko A. E., Semenyakin D. A., Sobachkin D. S., Sobachkin R. S. Gustota sosnovykh drevostoev pri intensivnom lesoyrashchivaniy (The density of pine stands under intensive forest growing) // Sib. lesn. zhurn. (Sib. J. For. Sci.). 2017. N. 6. P. 102–109 (in Russian with English abstract)].
- Иванов В. В., Борисов А. Н., Петренко А. Е. Влияние густоты древостоя на формирование кроны и рост по диаметру сосны обыкновенной // ИВУЗ. Лесн. журн. 2019. № 3 (369). С. 9–16 [Ivanov V. V., Borisov A. N., Petrenko A. E. Vliyanie gustoty drevostoya na formirovaniye krony i rost po diametru sosny obyknovennoy (Influence of stand density on crown formation and growth along the diameter of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.)) // IVUZ. Lesn. zhurn. (For. J.). 2019. N. 3 (369). P. 9–16 (in Russian with English abstract)].
- Ключников М. В. Лесоводственное обоснование рубок обновления и переформирования в сосняках ленточных боров (на примере Павловского лесхоза): автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.03. Барнаул: Алт. гос. агр. ун-т, 2000. 17 с. [Klyuchnikov M. V. Lesovodstvennoye obosnovaniye rubok obnovleniya i pereformirovaniya v sosnyakh lentochnykh borov (na primere Pavlovskogo leskhoza): avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk: 06.03.03 (Silvicultural substantiation of a renewal and reformation felling in pine stands of stripe forests (on the example of Pavlovskiy forestry enterprise): cand. agr. sci. (PhD) thesis: For. Sci., Silviculture). Barnaul: Alt. gos. agr. un-t (Altai St. Agr. Univ.), 2000. 17 p. (in Russian)].
- Ковылин Н. В., Ковылина О. П. Возобновление в сосновых насаждениях Восточной Сибири // Хвойные бореальной зоны. 2006. Т. XXIII. № 3. С. 96–101 [Kovylin N. V., Kovylyina O. P. Vozobnovlenie v sosnovykh nasazhdeniyakh Vostochnoy Sibiri (Regeneration in pine stands of the Eastern Siberia) // Khvoynye boreal'noy zony (Coniferous of the Boreal Zone). 2006. V. XXIII. N. 3. P. 96–101 (in Russian with English abstract)].
- Кузьмичев В. В. Закономерности роста древостоев. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1977. 160 с. [Kuzmichev V. V. Zakonomernosti rosta drevostoev (Regularities of a tree stands' growth). Novosibirsk: Nauka, Sib. otd-nie (Sib. Br.), 1977. 160 p. (in Russian)].
- Лиена И. Я., Мауринь А. М., Рамане К. К. Оценка реакции древостоя как основного критерия антропогенного воздействия // Антропотолерантность биосенозов и прикладная экология: тез. докл. Прибалт. конф., Таллин, 27-28 сент. 1977 г. Таллин: Акад. наук Эстон. ССР, 1977. С. 114–166 [Liepa I. Ya., Maurin A. M., Ramane K. K. Otsenka reaktzii drevostoya kak osnovnogo kriteriya antropogennogo vozdeystviya (Assessment of stand reaction as the main criterion of anthropogenic impact) // Antropotolerantnost biotsenozov i prikladnaya ekologiya: tez. dokl. Pribalt. konf., Tallin, 27-28 sent. 1977 (Anthropotolerance biocenoses and applied ecology: Abstr. Baltic conf., Tallin, 27-28 Sept. 1977). Tallin: Akad. nauk Eston. SSR (Acad. Sci. Estonia Soviet Socialist Rep.), 1977. P. 114–166 (in Russian)].
- Мелехов И. С. Лесоведение: учебник для вузов. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 406 с. [Melekhov I. S. Lesovedenie: uchebnik dlya vuzov (Forest science: textbook for univ.). Moscow: Lesn. prom-st' (Timber Industry), 1980. 406 p. (in Russian)].
- Мелехов И. С. Лесоводство. 2-е изд. доп., испр. М.: МГУЛ, 2003. 320 с. [Melekhov I. S. Lesovodstvo (Silviculture). 2-e izd. dop., ispr. (2<sup>nd</sup> ed., updated, revised). Moscow: MGUL (Moscow St. Univ. For.), 2003. 320 p. (in Russian)].
- Мякушко В. К., Вольвач Ф. В., Плюта П. Г. Экология сосновых лесов. Киев: Урожай, 1989. 246 с. [Myakushko V. K., Volvach F. V., Plyuta P. G. Ekologiya sosnovykh lesov (Ecology of pine forests). Kiev: Urozhay (Harvest), 1989. 246 p. (in Ukrainian)].
- Нагимов З. Я. Закономерности роста и формирования надземной фитомассы сосновых древостоев: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.03.03. Екатеринбург: УГЛТА, 2000. 40 с. [Nagimov Z. Ya. Zakonomernosti rosta i formirovaniya nadzemnoy fitomassy sosnovykh drevostoev: avtoref. dis. ... d-ra s.-kh. nauk: 06.03.03 (Regularities of growth and formation of aboveground phytomass of pine tree stands: dr. agr. sci. (DSc) thesis: For. Sci., Silvicult.). Yekaterinburg: UGLTA (Ural. St. For. Engineer. Acad.), 2000. 40 p. (in Russian)].
- Науменко И. М. Текущий объемный прирост насаждений // Науч. зап. Воронеж. лесохоз. ин-та. Т. 9. Воронеж: Воронеж. обл. книгоизд-во., 1948. С. 121–148 [Naumenko I. M. Tekushchiy obyemny prirost nasazhdeny (Current volumetric increment of stands) // Nauch. zap. Voronezh. lesokhoz. in-ta (Sci. Not. Voronezh For. Inst.). V. 9. Voronezh: Voronezh. obl. knigoizd-vo (Voronezh. Obl. Book Publ.), 1948. P. 121–148 (in Russian)].
- Онучин А. А., Иванов В. В., Евдокименко М. Д., Борисов А. Н., Петренко А. Е. Практические рекомендации по применению рубок обновления и переформирования в лесах бассейна озера Байкал Республики Бурятия. Красноярск: Ин-т леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 2016. 25 с. [Onuchin A. A., Ivanov V. V., Evdokimenko M. D., Borisov A. N., Petrenko A. E. Prakticheskie rekomendatsii po primeneniyu rubok obnovleniya i pereformirovaniya v lesakh basseyna ozera

- Baykal Respubliki Buryatiya (Practical recommendations for the use of a renewal and reformation felling in the forests of the Baikal lake basin Republic of Buryatia). Krasnoyarsk: In-t lesa im. V. N. Sukacheva SO RAN (V. N. Sukachev Inst. For., Sib. Br. Rus. Acad. Sci.), 2016. 25 p. (in Russian)].
- Орлов М. М. Лесная таксация. 2-е изд., испр. и доп. Л.: Ленингр. лесн. ин-т, 1925. 510 с. [Orlov M. M. Lesnaya taksatsiya. 2-e izd., ispr. i dop. (Forest inventory. 2<sup>nd</sup> ed., revised and updated). Leningrad: Leningr. lesn. in-t (Leningrad For. Inst.), 1925. 510 p. (in Russian)].
- Рогозин М. В., Разин Г. С. Развитие древостоев. Модели, законы, гипотезы: моногр. Пермь: Перм. гос. науч.-иссл. ун-т, 2015. 277 с. [Rogozin M. V., Razin G. S. Razvitie drevostoev. Modeli, zakony, gipotezy: monogr. (Development of forest stands. Models, laws, hypotheses: monogr.). Perm: Perm. gos. nauch.-issl. un-t (Perm St. Sci. Res. Univ.), 2015. 277 p. (in Russian with English abstract)].
- Сеннов С. Н. Итоги 60-летних наблюдений за естественной динамикой леса. СПб.: СПбНИИЛХ, 1999. 98 с. [Sennov S. N. Itogi 60-letnikh nablyudeniy za estestvennoy dinamikoy lesa (The results of 60-year observations of the natural dynamics of forest). St. Petersburg: SPbNIILKh (St. Petersburg For. Res. Inst.), 1999. 98 p. (in Russian)].
- Сеннов С. Н. Лесоведение и лесоводство: учеб. для студ. вузов. М.: Издательский центр «Академия», 2005. 256 с. [Sennov S. N. Lesovedenie i lesovodstvo: ucheb. dlya stud. vuzov (Forest science and silviculture: textbook for students of higher education institutions). Moscow: Izdatelsky tsentr «Akademiya» (Publ. Center «Academy»), 2005. 256 p. (in Russian)].
- Сортиментные и товарные таблицы для древостоев Западной и Восточной Сибири. Утв. председателем Гослесхоза СССР А. С. Исаевым, приказ № 177 от 21.11.1989 г. Красноярск, 1991. 146 с. [Sortimentnye i tovarnye tablitsy dlya drevostoev Zapadnoy i Vostochnoy Sibiri. Utv. Predsedatelem Goslekhoza A. S. Isaevym, prikaz N. 177 ot 21.11.1989 g. (Assortment and commodity tables for tree stands of the Western and Eastern Siberia. Approved by the Chair of Goslekhoz A. S. Isaev, order N. 177 of 21.11.1989). Krasnoyarsk, 1991. 146 p. (in Russian)].
- Таран И. В. Сосновые леса Западной Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1973. 292 с. [Taran I. V. Sosnovye lesa Zapadnoy Sibiri (Pine forests of the Western Siberia). Novosibirsk: Nauka, Sib. otd-nie (Sci., Sib. Br.), 1973. 292 p. (in Russian)].
- Assmann E. Waldertragskunde. Organische Produktion, Struktur, Zuwachs und Ertrag von Waldbestaeden. Muenchen: BLV Verlagsgessellschaft, 1961. 490 p.

## **INFLUENCE OF SELECTIVE LOGGING ON THE PRODUCTIVITY OF PINE TREES IN THE CONDITIONS OF KRASNOYARSK FOREST-STEPPE**

**V. V. Ivanov, D. A. Semenyakin**

*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: viktor\_ivanov@ksc.krasn.ru, denis888@inbox.ru

Research has been carried out to study the effect of the first thinning on the overall productivity of mature pine stands in the forest-steppe zone of the Krasnoyarsk Kray. The results of the influence of felling from low to very high volume intensity on the value of the current periodic growth in mature pine stands of different initial basal area are presented. In pine forests of forb-green moss and lingonberry-forb-green moss types, a comparative analysis of the average annual periodic increase in the stock for 5–10 years was carried out. It was found that the increase is due to both the intensity of felling and the initial density of stands and varies within wide limits (from 2.4 to 7.3 m<sup>3</sup>/ha per year). On control plot, this value was 2.6–4.9 m<sup>3</sup>/ha per year. A positive dependence of the average current annual increment per 1 m<sup>3</sup> of stand volume after the first thinning with the felling intensity was revealed. Thinning intensity optimums were determined for stands of different initial density at the age of 100–120 years. For initial densities of 500, 600, 700 and 800 trees/ha, it will be equal to 100 (20 %), 200 (33 %), 300 (43 %) and 400 trees/ha (50 %), respectively, which can be used for practical recommendations for the renewal felling. At the same time, the main criterion for the intensity of thinning of forest stands is their purpose (protective forests) and their condition (natural regeneration and wind sustainability).

**Keywords:** *mature pine forests, average current periodic increment, radial increment, wood stock, partial cuts, natural reforestation.*

**How to cite:** *Ivanov V. V., Semenyakin D. A. Influence of selective logging on the productivity of pine trees in the conditions of Krasnoyarsk forest-steppe // Sibirskij Lesnoj Zurnal (Sib. J. For. Sci.). 2021. N. 1. P. 58–67 (in Russian with English abstract and references).*