

ОРИГИНАЛЬНЫЕ  
СТАТЬИ

УДК [630\*221.22+630\*231]: 582.475

СИСТЕМА РУБОК И ВОЗОБНОВЛЕНИЯ СОСНОВЫХ ЛЕСОВ  
НА ЭКОЛОГО-ГЕНОГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ОСНОВЕ

© 2015 г. С. Н. Санников, Д. С. Санников

*Ботанический сад УрО РАН*

*620144, Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202*

E-mail: stanislav.sannikov@botgard.uran.ru

Поступила в редакцию 16.09.2015 г.

На базе эколого-географических исследований в лесах России и теории петропсаммофитности–пирофитности сосны обыкновенной (Санников С. Н., 1983) обоснована концепция адаптации ее популяций к естественному возобновлению на открытых местообитаниях с мозаично сохранившимся древостоем и минерализованной поверхностью почвы. В качестве основного принципа организации системы «рубка–возобновление» в равнинных сосновых лесах лесной зоны избраны и разработаны способы сплошнолесосечных рубок с инсеминацией от стен леса и семенных куртин и достаточной подготовкой почвы под самосев сосны. Высокая возобновительная эффективность этой системы с применением оригинального агрегата для оптимальной минерализации почвенного субстрата (с одновременным рыхлением) экспериментально показана на примере преобладающих типов сосновых лесов подзоны предлесостепи Западной Сибири. Обоснованы лесоводственно-экологические и репродуктивно-генетические преимущества оставления семенных куртин вместо отдельных семенных деревьев. С помощью методов имитационного математического моделирования плотности самосева сосны в зависимости от площади и размещения семенных куртин, стен леса и степени минерализации субстрата определены базовые параметры системы «рубка–возобновление», гарантирующие успешность последующего возобновления сосны в подзоне предлесостепи. По ранее изученным параметрам структуры и возобновления ценопопуляций сосны в других подзонах разработана зонально дифференцированная система рубок и мер оптимизации возобновления в климатически замещающих типах сосновых лесов Западной Сибири на эколого-географической основе. Ее принципы в лесной зоне сводятся к сплошным чересполосным рубкам с инсеминацией вырубков от семенных куртин и стен леса, а в лесостепи – к котловинным рубкам с обсеменением и затенением вырубков от окружающих стен леса (в обеих зонах с необходимой минерализацией и рыхлением поверхности почвы). Подходы и методы предлагаемой системы «рубка–возобновление» рекомендованы для равнинных сосновых и лиственнично-сосновых лесов Западной Сибири и географически замещающих типов леса других регионов.

**Ключевые слова:** *сосна обыкновенная, экология, генетика, география, естественное возобновление, система рубок, Западная Сибирь.*

DOI: 10.15372/SJFS20150601

**ВВЕДЕНИЕ**

Лесные экосистемы – основная составляющая биосферы суши и гарант сохранения баланса жизненной среды человечества – ныне испытывают прогрессирующий антропогенный стресс. Глобальными катастрофически-

ми факторами трансформации их структуры и функций являются пожары и рубки. Под их влиянием площадь лесов, их возобновление, продуктивность и стабильность на всех континентах падают, а разнообразие и генофонд обедняются. Острейшей проблемой устойчивого развития общества, особенно на фоне по-

тепления климата, стало лесовосстановление, так как природо- и социозащитная роль лесов пропорциональна сомкнутости и продуктивности их древесного яруса.

В отличие от Центральной Европы, где естественные леса почти сплошь заменены культурными, на большей части территории лесной зоны России, за исключением юга и центра Русской равнины, доминируют природные или близкие к ним («*naturnähen*») экосистемы. Природные условия лесной зоны России в целом вполне благоприятны для естественного возобновления популяций главных лесообразующих видов хвойных, поэтому наиболее вероятно, что на обозримое будущее здесь оптимальной будет такая стратегия использования лесов, которая позволит на базе познанных закономерностей их развития с минимальными затратами труда соответствовать их динамике (Шварц, 1974). Принцип естественного воспроизводства лесов намного рентабельнее, эффективнее, а главное, обеспечивает почти полное сохранение сбалансированного природного генофонда популяций, следовательно, их долговременную стабильность. Искусственное лесовосстановление пока генетически, экологически и энергоэкономически недостаточно обосновано и необходимо лишь в антропогенно нарушенных и фитоценотически сложных ценоэкосистемах.

После сплошных рубок, которые являются основным способом главного лесопользования в лесах России, все основные компоненты биogeоценозов и факторы среды резко нарушаются и не соответствуют экологическим требованиям («экологической нише») самосева хвойных (Санников С. Н., 1992). Большая часть подроста предварительных генераций уничтожается в процессе механизированной рубки. Доля оставляемой обсеменительной части древостоя (3–5 %) крайне недостаточна для его воспроизводства, что означает «перепромысел» популяций. Обработка почвы с целью подготовки благоприятного субстрата для самосева главных видов почти не проводится или явно недостаточна, так как отсутствуют специализированные орудия и машины. В общем, после рубки для успешного лесовозобновления требуется комплекс интенсивных мер содействия ему. Сущность их сводится к созданию такой среды для появления, выживания и роста самосева главных видов, кото-

рая соответствует его экологическим требованиям в онтогенезе.

Ранее нами изучены главнейшие параметры экологической и генетической структуры и семеношения древостоев, динамики среды и естественного возобновления ценопопуляций сосны *Pinus sylvestris* L. и сопутствующих видов в сосновых лесах различных подзон Западной Сибири и других регионов России (Санников С. Н., 1992; Санников С. Н., Петрова, 2003; Санников С. Н. и др., 2004, 2012; Sannikova et al., 2011). Разработаны, экспериментально апробированы и предложены принципы сплошных рубок, рубок «обновления» и мер по улучшению процессов их воспроизводства.

Цель данной статьи – на базе обобщения эволюционно-экологических, генетических и географических закономерностей структуры и естественного возобновления сосновых лесов Западной Сибири обосновать принципы, методы и параметры лесоводственной системы рубок главного пользования и адекватные меры оптимизации их самовосстановления.

## ПОДХОДЫ И МЕТОДЫ

В качестве методических принципов выбора и разработки эколого-генеогеографически обоснованной системы рубок главного пользования и воспроизводства сосновых лесов Западной Сибири применены следующие:

1) *эволюционно-биологический* – адекватный эволюционно обусловленным биологическим особенностям сосны обыкновенной;

2) *лесотиполого-экологический* – дифференцированный в зависимости от региональной специфики типов экотопов, типов леса и успешности возобновления ценопопуляций сосны;

3) *зонально-географический* – дифференцированный в зависимости от зонально-географических особенностей структуры, семеношения и возобновления ценопопуляций;

4) *популяционно-генетический* – учитывающий влияние рубок на семенную репродукцию и генофонд.

Для оценки успешности возобновления ценопопуляций сосны на вырубках использована шкала, построенная по данным массива пробных площадей (Санников С. Н., 1992)

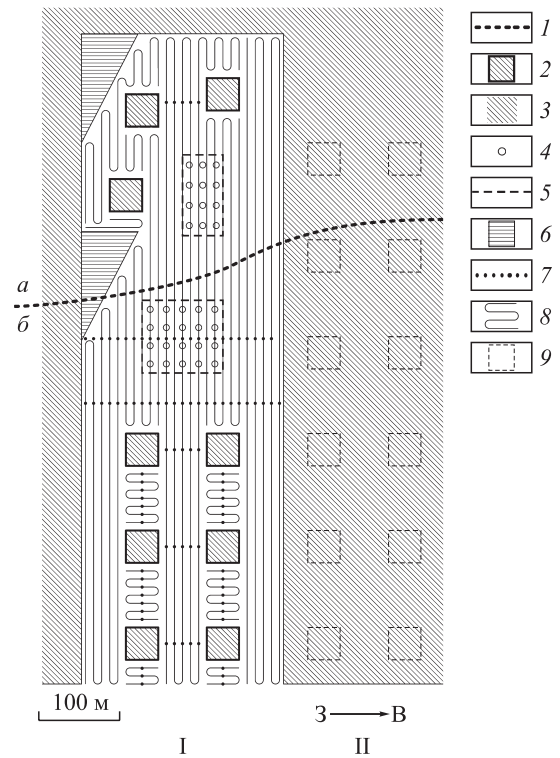
**Таблица 1.** Шкала оценки успешности естественного возобновления сосны по количеству жизнеспособного подроста (тыс. экз./га) высотой 0.5–1.5 м на сплошных вырубках в различных группах типов леса и подзонах Западной Сибири

Подзона	Балл оценки	Группа типов леса		
		лишайниковая	зеленомошная	долгомошная
Тайга: северная	3	> 2	> 3	> 2
	2	1–2	1–3	1–2
	1	< 1	< 1	< 1
средняя	3	> 3	> 4	> 3
	2	1–3	2–4	1–3
	1	< 1	< 2	< 1
южная	3	> 3	> 4	> 3
	2	1–3	2–4	1–3
	1	< 1	< 2	< 1
Предлесостепь	3	> 2	> 5	> 2
	2	1–2	2–5	1–2
	1	< 1	< 2	< 1
Лесостепь	3	> 1.5	> 3	> 2
	2	1–1.5	1–3	1–2
	1	< 1	< 1	< 1

Примечание. Баллы оценки успешности возобновления: 1 – плохое, 2 – недостаточное, 3 – достаточное.

о средней численности жизненного самосева последующих генераций на летних вырубках (с модальной долей минерализации почвы 5–15 %) на расстоянии до трех средних высот древостоя от его стен и до 50 м от семенных куртин (табл. 1). При данных нормативах плотности самосева сосны (даже при отсутствии подроста сосны предварительных генераций и мелколиственных видов) общее проективное покрытие площадей его корневых систем к 10–15-летнему возрасту достигает 300–500 % (т. е. 3–5-кратного перекрытия) и обеспечивается формирование стабильного подземно-сомкнутого лесного биогеоценоза (Санников С. Н., Санникова, 2014) с достаточным участием сосны в составе древостоя.

Для определения параметров площади семенных куртин и расстояния между ними, необходимых для обеспечения минимально достаточной численности подроста сосны (при определенной степени минерализации поверхности почвы), служили имитационные математические модели, построенные по данным стационарных количественных исследований в сосняках зеленомошных подзоны предлесостепи (Санников С. Н. и др., 2004; Санников Д. С., 2010).



**Рис. 1.** Схема экспериментальной сплошной рубки и мер по оптимизации естественного возобновления в сосняках зеленомошных эксплуатационной зоны в подзоне предлесостепи Западной Сибири.

1 – граница между типами леса «сосняк чернично-зеленомошный» (а) и «сосняк бруснично-чернично-зеленомошный» (б); 2 – семенные куртины (размером 40×40 м), оставленные на вырубке I заруба чересполосной рубки; 3 – стены леса; 4 – семенные деревья; 5 – границы пробных площадей с семенными деревьями; 6 – молодняки сосны предварительных генераций; 7 – серии учетных площадок; 8 – схема обработки почвы под самосев сосны; 9 – семенные куртины, отведенные на лесосеке II заруба; I – опытная вырубка I заруба, II – лесосека II заруба.

Возобновительная эффективность рубки изучена экспериментально. На сплошной вырубке шириной 250 м и длиной 800 м (20 га) оставлено 9 семенных куртин размером 40×40 м, размещенных двумя рядами вдоль оси вырубке (с севера на юг) на расстоянии их центров 120 м друг от друга в рядах и 100 м между ними (рис. 1).

Вырубленный древостой сосны (10С) 135-летнего возраста (полнотой 0.75, высотой 27–28 м) охватывает два типа леса – сосняки бруснично-чернично-зеленомошный и чернично-зеленомошный. Кроме того, апробирован вариант с оставлением 18 отдельных деревьев-«семенников» на площади 1 га в сосняке бруснично-чернично-зеленомошном и 9 деревьев на площади 0.5 га в сосняке чернично-зеленомошном.



**Рис. 2.** Агрегат для подготовки оптимального напочвенного субстрата под самосев путем минерализации и рыхления поверхности почвы.

Лесосека разработана зимой 1997/98 г. узкими пасаками (шириной 25–30 м), расположенными между стенами семенных куртин. Трелевка стволов (за вершину) проведена по существующим технологическим коридорам шириной 5 м, расположенным на расстоянии 50 м друг от друга. Редкий (1,7 тыс. экз. · га<sup>-1</sup>) подрост сосны предварительных генераций высотой 0,5–1,0 м сохранился только на вырубке в первом типе леса.

Оптимальный субстрат для заделки и прорастания семян сосны подготовлен в начале мая 1998 г. с помощью оригинального агрегата (патент РФ № 2183918, Санников С. Н. и др., 2002), создающего двухотвальную плужную борозду (глубиной 15–20 см, шириной 1 м) с одновременным рыхлением ее дна дисковой бороной (рис. 2).

При одинаковой инсеминации плотность всходов сосны на дне рыхленых борозд в 2–3 раза выше, чем на плоском дне, подготовленном лесокультурным плугом, на котором семена плохо заделываются дождями и в массе (до 50–70 %) потребляются птицами и мышевидными грызунами. Перекрестная схема подготовки субстрата под самосев между

семенными куртинами при расстоянии между центрами борозд 5 м обеспечивает минерализацию 20 % поверхности почвы (считая по дну борозд). Глубина рыхления верхнего слоя почвы дна борозд (3–5 см) различной плотности регулировалась путем изменения угла атаки дисков бороны. Аналогичный опыт с минерализацией и рыхлением рыхлопесчаной почвы под самосев сосны на различных расстояниях от стены леса проведен в сосняке бруснично-лишайниковом.

На сериях пробных площадей-трансект, заложенных в конце первого и второго вегетационного периодов после рубки, между семенными куртинами, а также у стен леса (в местах отсутствия семенных куртин и деревьев) и под семенными деревьями, детально учтены численность и жизненность всходов сосны на различных микробиотопах дна и пластов борозд и расстояниях от источников семян сосны (см. рис. 1).

По данным учета жизненного самосева сосны разработаны имитационные математические модели распределения его средней плотности на 1 га вырубке (в пересчете на самосев старше 5 лет по эмпирическим кривым выживания, приведенным в работе С. Н. Санникова (1992)) при различных вариантах размещения источников семян и степени подготовки субстрата под самосев. На базе этих моделей и параметров минимально достаточной численности самосева сосны (см. табл. 1) определены параметры площади и расстояний между семенными куртинами и стенами леса.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

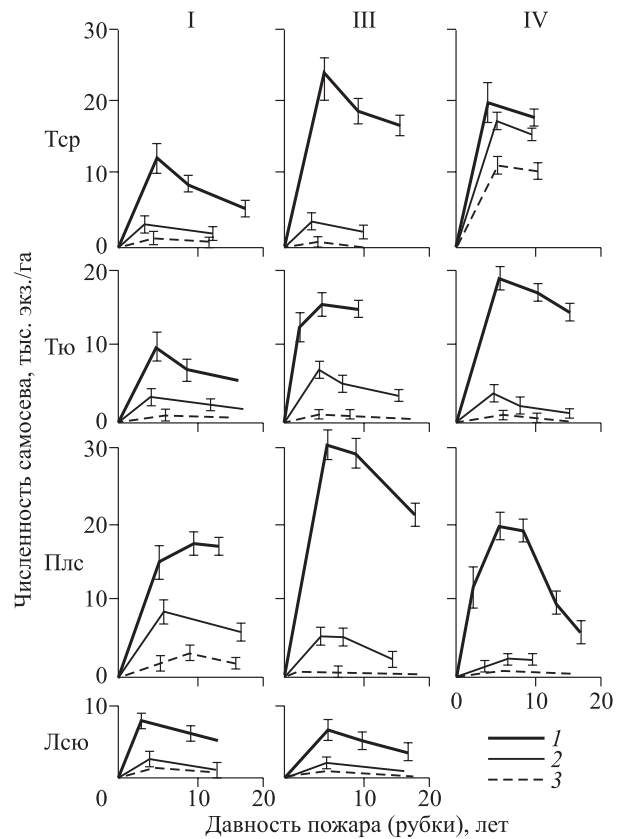
*Эволюционная биология вида.* В соответствии с гипотезой петропсаммофитности-пирофитности сосны обыкновенной (Санников С. Н., 1983, 1992) она является типичным эксплерентом-пирофитом, разносторонне адаптированным к возобновлению на открытых гарях или механически эродированных аренах. Это подтверждают такие свойства ее самосева и деревьев, как гелиофильность (за исключением стадий проростков и всходов 1–2-летнего возраста), олиготрофность, засухо- и морозоустойчивость (Побединский, 1965; Lyr et al., 1967; Rowe, Scotter, 1973; Санников С. Н., 1992; Туманов, 1979), а также способность к дальнему распространению семян

и пыльцы (Sarvas, 1962; Koski, 1970; Санников С. Н., Петрова, 2003; Lanner, 1998). Подрост сосны в отличие от подростка темнохвойных видов не способен длительно выживать под влиянием корневой и «световой» конкуренции сомкнутого древостоя (Санникова, 1992).

Вспышки возобновления сосны стимулируются пожарами или ветровалами и рубками, сопровождающимися огневой или механической минерализацией почвенного субстрата. Для естественных сосновых лесов характерна импульсная пирогенная стабильность – способность к непрерывному возобновлению, выживанию и доминированию ценопопуляций сосны в циклически пожарной среде. Она обеспечивается благодаря воспроизводимой пожарами мозаично-ступенчатой возрастнo-высотной структуре древостоев. На стихийных горях почти всегда наблюдается достаточная инсеминация от фрагментов (куртин и полос) сохранившегося древостоя, в пределах которых обеспечены ксеногамия и формирование полных фертильных семян. Отдельные же «семенные» деревья сосны, традиционно оставляемые на сплошных вырубках, подвержены ветровалу, медленно адаптируются к открытой среде и продуцируют много пустых семян из-за дефицита пыльцы извне и сравнительно слабой у *Pinus sylvestris* способности к самоопылению (Strand, 1957; Помедер, Шёнбах, 1962; Koski, 1970; Stern, Roche, 1974; Исаков, 1999).

**Экогеографические принципы семеношения и возобновления.** Эмпирической основой для разработки параметров рубок и оптимизации возобновления ценопопуляций сосны на вырубках могут служить следующие выявленные нами экогеографические закономерности (Санников С. Н., 1992; Санников С. Н. и др., 2004).

Среднегодовые урожаи полных семян в спелых и перестойных древостоях стен леса и семенных куртин сосны модальной полноты клинально возрастают со 120–160 тыс. на 1 га в северной тайге до 300–590 тыс. в подзоне предлесостепи и до 1060–1630 тыс. на 1 га в северной лесостепи. Во всех подзонах лесной зоны интенсивное последующее возобновление сосны происходит на обсеменяемых (на расстоянии до трех высот древостоя от стен леса) открытых горях – в среднем на уровне плотности 10–17 тыс. экз. самосева на 1 га в



**Рис. 3.** Динамика численности жизненного самосева сосны (старше 5-летнего возраста) на сплошных горях и вырубках в зонально-замещающих типах сосновых лесов Западной Сибири (на расстоянии 0–50 м от одной стены леса).

Подзоны: Тср – тайга средняя, Тю – тайга южная, Плс – предлесостепь, Лсю – лесостепь южная. I, III, IV – ряды топоэкологически аналогичных типов леса: I – на «сухих» и «суховатых» почвах вершин увалов («дюн»), III – на «свежих» почвах пологих склонов увалов, IV – на «влажных» почвах шлейфов склонов увалов. 1 – горя, 2 – вырубки летнего сезона, 3 – вырубки зимнего сезона.

сосняках лишайниковых и 18–30 тыс. экз. на 1 га в сосняках зеленомошных (рис. 3).

В 2–7 раз меньшая, чем на горях, плотность самосева сосны последующих поколений (4–7 тыс. экз. · га<sup>-1</sup>) характерна для рубок летнего сезона с частичной (5–15 %) минерализацией поверхности почвы в ходе рубки (за исключением сосняков IV ряда типов леса в средней тайге, где обилие всходов сосны обусловлено благоприятным влиянием долгомошного покрова на прорастание ее семян) и на порядок меньшая (0.5–2.0 тыс. экз. · га<sup>-1</sup>) – для зимних рубок, покрытых грубогумусной подстилкой.

В сосняках зеленомошных оптимальное сочетание и динамика главнейших факторов субстрата для естественной заделки и про-

растания семян, выживания и роста всходов сосны, соответствующие ритму их онтогенеза, складываются на интенсивно обожженной или минерализованной и взрыхленной поверхности почвы (Санников С. Н., 1965, 1992).

Важнейшим резервом воспроизводства сосны и ее генофонда служит подрост предварительных генераций. В зависимости от типа леса, давности последнего пожара, технологии и сезона рубки его численность на вырубках во всех подзонах широко колеблется. Она в несколько раз выше в сосняках лишайниковых и бруснично-зеленомошных ( $4\text{--}47$  тыс. экз.  $\cdot$  га $^{-1}$ ) по сравнению с бруснично-чернично-зеленомошными ( $1\text{--}10$  тыс. экз.  $\cdot$  га $^{-1}$ ) и на порядок больше, чем в сосняках чернично- и мелко-травно-зеленомошных ( $0.2\text{--}1$  тыс. экз.  $\cdot$  га $^{-1}$ ).

В подзоне южной лесостепи, несмотря на в 2–3 раза более интенсивное семеношение древостоев, в связи с увеличением инсоляции и засушливости климата, почв и на порядок меньшими коэффициентами выживания самосева (Санников С. Н., 1992) возобновляемость сосны на открытых гарях и вырубках падает в несколько раз (см. рис. 3). Генерации ее самосева появляются и выживают лишь во влажные годы с летними осадками как минимум на 20–30 % выше среднего многолетнего (Санникова, 2009) и преимущественно в тени деревьев (Симон, 1934; Грибанов, 1960; Санников С. Н., 1992). Подрост сосны, не выживающий под пологом леса дольше 5–10 лет, на вырубках почти отсутствует.

**Репродуктивная сфера и генетические аспекты.** Вид *Pinus sylvestris* L., как и многие другие хвойные бореальной зоны (родов *Pinus*, *Picea*, *Abies*, *Larix*), – один из относительно самостерильных, перекрестно оплодотворяющихся (Strand, 1957; Ромедер, Шёнбах, 1962; Sarvas, 1962; Некрасова, 1983). Эффективность самоопыления деревьев обычно не превышает 8–10 % (Stern, Roche, 1974; Райт, 1978). У далеко отстоящих друг от друга «семенных» деревьев на вырубках вследствие перекрестного недоопыления мегастробиллов до 90 % семян пустые. Эмбрионы с летальными рецессивными гомозиготами у 9 % самоопыленных семян abortируются (Koski, 1971; Geburek, Turok, 2005). Остальные семена характеризуются низкой всхожестью, а всходы из них – слабым ростом и неустойчивостью к

экстремумам среды (Ромедер, Шёнбах, 1962; Koski, 1970). Доля семян сосны, продуцируемых 20–25 семенными деревьями на 1 га, составляет лишь 10–15 % от урожая семян в стенах леса, но при этом 15–30 % «семенников» вскоре после рубки вываливается ветром (Санников С. Н., 1992).

В целом аллельный состав генофонда нескольких десятков семенных деревьев (отбираемых по внешним признакам обилия семеношения и формы ствола) недостаточно репрезентативно (асимметрично) представляет исходный сбалансированный пул генов материнской популяции. На порядки большую роль в воспроизводстве генофонда могут играть несколько тысяч (или даже сотен) особей сохранившегося «подпологового» подростка сосны, который формирует репродуктивный ярус нового поколения популяции (Санников С. Н., 1992).

Качественно иным типом источника семян для обеспечения естественного возобновления и сохранения генофонда природных дендропопуляций являются достаточные по площади семенные куртины. В этих компактных фрагментах древостоя с ненарушенной дендроценотической структурой наблюдаются почти полная панмиксия и естественные микропопуляционно-генетические отношения деревьев. В частности, сохраняется нормальная плотность пыльцевого потока между деревьями и, следовательно, высокая вероятность ксеногамии и формирования полнозернистых фертильных семян. У деревьев в древостое семенных куртин среднее число полных семян в одной шишке (6–12) на 15–20 % больше, чем у одиночных семенных деревьев на вырубках.

**Устойчивость и возобновительная роль семенных куртин и деревьев.** В течение 15-летнего периода после рубки в семенных куртинах размером 40×40 м в обоих типах леса отмечен отпад (ветровал или усыхание) лишь единичных опушечных деревьев. В то же время уже в первые 3–5 лет после рубки зарегистрирован вывал ветром 11 % семенных деревьев в сосняке бруснично-чернично-зеленомошном и 20 % в сосняке чернично-зеленомошном.

В течение первых трех лет после рубки, когда появилось около 95 % самосева сосны, если судить по данным учета числа шишек, опавших на почву, и среднего числа полных

семян в одной шишке, семеношение в куртинах составило  $(410 \pm 32)$  тыс. шт.  $\cdot$  га<sup>-1</sup> в год в сосняке бруснично-чернично-зеленомошном и  $(395 \pm 44)$  тыс. шт.  $\cdot$  га<sup>-1</sup> в год в сосняке чернично-зеленомошном. В то же время в сосняке бруснично-чернично-зеленомошном 18 семенных деревьев на 1 га вырубке продуцировали в среднем по 2.0 тыс. шт. полных семян на 1 га в год, а в общем – 36.6 тыс. шт. на 1 га в год. При этом число полных семян в одной шишке на них  $(8.4 \pm 1.3)$  было на 23 % меньше, чем в семенной куртине или в древостое стены леса  $(10.9 \pm 1.7)$ . Следует также отметить простоту отвода и вырубке семенных куртин после завершения возобновления и их важную роль в сохранении структуры среды, флоры, фауны и всей биоты естественных лесных экосистем.

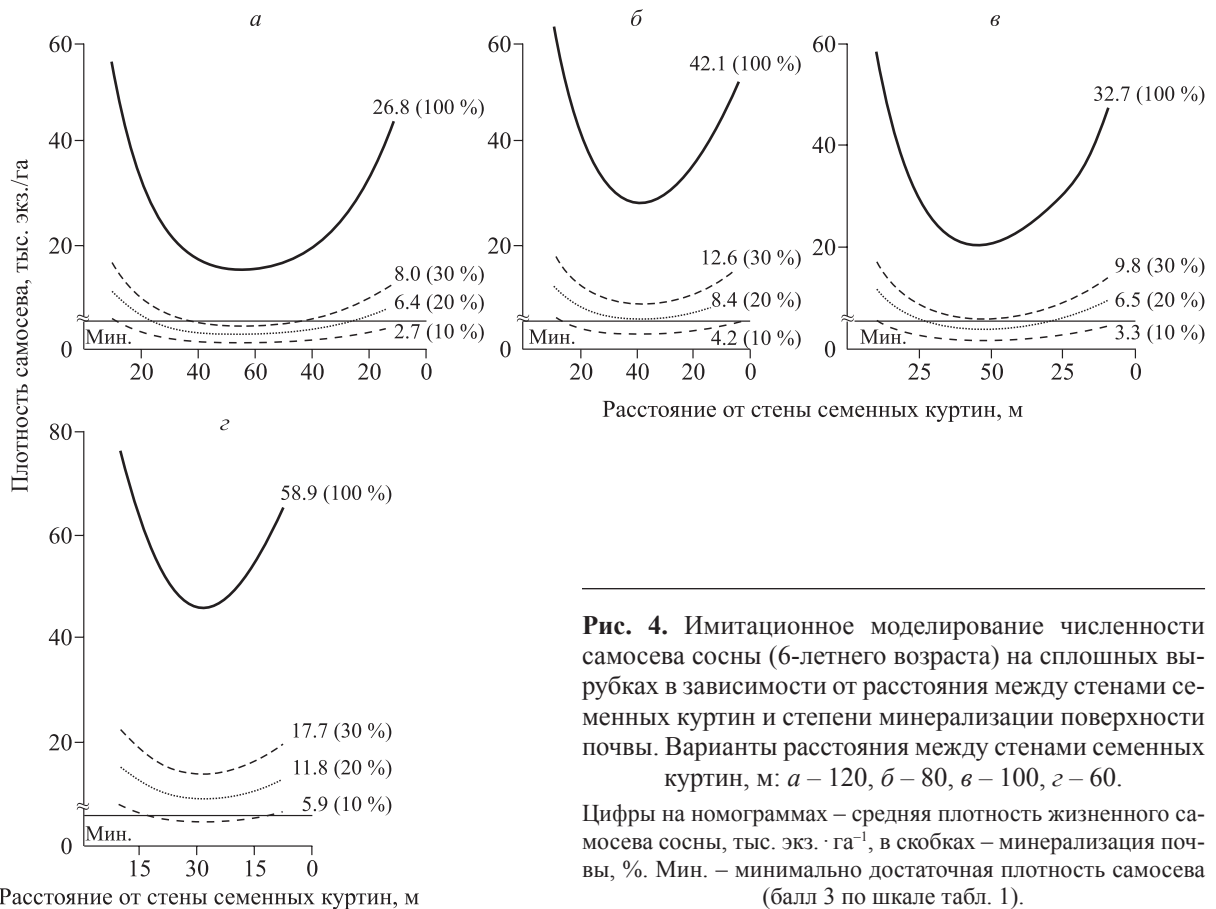
**Возобновление от семенных куртин.** По результатам имитационного математического моделирования (рис. 4), например, при расстоянии между центрами семенных куртин 120 м, а между их стенами 80 м средняя численность самосева сосны (старше 5 лет) на вырубках в обоих типах леса увеличивается с

4.2 тыс. экз.  $\cdot$  га<sup>-1</sup> при минерализации 10 % поверхности почвы до 42.1 тыс. экз.  $\cdot$  га<sup>-1</sup> при сплошном (100 %) обнажении минерального горизонта почвы (см. рис. 4, б).

Во всех вариантах размещения куртин наблюдается аналогичная форма распределения плотности самосева – ее снижение в центральной и резкое повышение в окраинных частях межкуртинной площади. Отличное возобновление сосны (со средней плотностью 12-летнего подроста 9.7 тыс. экз.  $\cdot$  га<sup>-1</sup>) получено на нашей опытной вырубке в сосняке бруснично-чернично-зеленомошном при 30%-й минерализации поверхности почвы.

Достаточный минимум средней возобновляемости сосны в сосняке бруснично-чернично-зеленомошном (5 тыс. экз.  $\cdot$  га<sup>-1</sup>) надежно обеспечивается при 20%-й, а отличное возобновление (12.6 тыс. экз.  $\cdot$  га<sup>-1</sup>) – при 30%-й обработке поверхности почвы (рис. 5).

Подготовка экологически оптимального субстрата под самосев сосны выполнена с помощью оригинального агрегата нашей конструкции (Санников С. Н., 2004), представляющего собой комбинацию двухотвального



**Рис. 4.** Имитационное моделирование численности самосева сосны (6-летнего возраста) на сплошных вырубках в зависимости от расстояния между стенами семенных куртин и степени минерализации поверхности почвы. Варианты расстояния между стенами семенных куртин, м: а – 120, б – 80, в – 100, г – 60.

Цифры на номограммах – средняя плотность жизненного самосева сосны, тыс. экз.  $\cdot$  га<sup>-1</sup>, в скобках – минерализация почвы, %. Мин. – минимально достаточная плотность самосева (балл 3 по шкале табл. 1).



**Рис. 5.** Успешное естественное возобновление сосны (12,6 тыс. экз. · га<sup>-1</sup>) на сплошной вырубке давностью 12 лет в результате обсеменения от семенных куртин размером 40×40 м, расположенных (центрами) на расстоянии 120 м друг от друга, и минерализации 30 % поверхности почвы в сосняке бруснично-чернично-зеленомошном подзоны предлесостепи Западной Сибири.

плуга, создающего минерализованную, очищенную от корней и корневищ трав борозду глубиной 15–20 см, шириной 1.0 м, и дисковой бороны, производящей грубое рыхление ее дна (см. рис. 2). Рыхление субстрата содействует быстрой и полной заделке семян в почву, исключая их массовое (до 70 % и более (Санников С. Н., 1992)) потребление мышевидными грызунами и птицами, и успешному укоренению всходов. В одинаковых условиях обсеменения плотность всходов сосны в сосняке бруснично-лишайниковом в 1.3 раза, в бруснично-чернично-зеленомошном в 2.7 раза, а в чернично-зеленомошном в 3.2 раза больше, чем на нерыхленном дне, – соответственно 28, 112 и 84 тыс. экз. на 1 га обработанной почвы.

В соответствии с результатами моделирования численности самосева сосны (см. рис. 4) недостаточная инсеминация, обусловленная большим расстоянием между семенными куртинами, может быть компенсирована увеличением степени минерализации почвы. А при недостатке технических средств для подготовки субстрата можно усилить возобновительный эффект за счет уменьшения расстояния между куртинами или увеличения их площади.

**Возобновление от стен леса.** Имитационное моделирование показало, что достаточная плотность подроста сосны старше 5-летнего возраста (свыше 5 тыс. экз. · га<sup>-1</sup>) при условии

минерализации и рыхления поверхности почвы на 20 % площади вырубki достигается на расстоянии до 75 м от западной и до 60 м от восточной стен леса. В этих зонах, где выпадает соответственно 23 и 19 % семян, созревающих в стенах леса (Санников С. Н., 1992), плотность подроста сосны на расстоянии 10 м от стены леса достигает 20–25 тыс. экз. · га<sup>-1</sup>. В средней же части вырубki шириной 250 м, даже с двумя стенами леса, возобновляемость сосны падает до уровня 4–5 тыс. экз. · га<sup>-1</sup>, а при одной стене – еще вдвое. Для обеспечения достаточного и более равномерного возобновления здесь необходимо оставлять семенные куртины.

**Возобновление от семенных деревьев.** Средняя плотность самосева (в переводе на жизненный подрост старше 5-летнего возраста) при минерализации и рыхлении 20 % поверхности почвы (считая по дну борозд) на участке с 18 семенными деревьями на расстоянии от 80 до 120 м от восточной стены леса составила (2.9±0.7) тыс. экз. · га<sup>-1</sup>. Этот уровень возобновляемости сосны в 3 раза меньше, чем на части вырубki в том же типе леса (сосняк бруснично-чернично-зеленомошный) с семенными куртинами, и недостаточен для полноценного восстановления исходной ценопопуляции. Кроме того, повреждение корней при подготовке субстрата под самосев на приствольных кругах семенных деревьев обусловили их частичный вывал ветром уже в первые два года после рубки.

**Возобновление на вырубках второго заруба.** Одной из проблем чересполосного способа рубки является обеспечение возобновления сосны на лесосеках второго заруба. Она может быть решена путем отвода и оставления системы семенных куртин, равномерно обсеменяющих вырубку (см. рис. 1), и минерализации 20–25 % поверхности почвы вокруг них. Появление достаточного количества самосева сосны под пологом самих семенных куртин стимулируется неглубоким поверхностным рыхлением почвы с помощью легких дисковых борон или фрез на 5–10 % площади (Харлов, 2006) за три года до их вырубki.

Приведенные для сосняков зеленомошных подзоны предлесостепи параметры системы рубок и содействия возобновлению сосны могут быть рекомендованы и для сосновых лесов подзоны южной тайги, в которых показатели



**Таблица 2.** Зонально-географическая дифференциация способов рубок и оптимизации естественного возобновления сосны в сосновых лесах Западной Сибири

Лесорастительные зоны и подзоны	Ширина и направление* лесосек. Срок и тип их примыкания	Обилие подраста, балл	Группы типов и типы леса	Комплексы мер содействия возобновлению			
				перед рубкой**	в ходе рубки	после рубки	
Тайга северная и средняя	<u>250–500 м (С–Ю)</u> 7 лет; ЧП	1	лш, зм бг-дм	ОСК (50×50 м, 120 м, 17 %) ОСК (50×50 м, 110 м, 21 %)	МПТ МПТ	ПМРП (30–40 %) –	
			2	лш, зм бг-дм	ОСК (40×40 м, 120 м, 11 %) ОСК (40×40 м, 120 м, 11 %)	СП, МПТ СП, МПТ	ПМРП (20 %), ПОВ ПОВ
			3	лш, зм бг-дм	ОСК (30×30 м, 130 м, 7 %) –	СП СП	ПОВ ПОВ
Тайга южная и предлесостепь	<u>150–350 м (С–Ю)</u> 5 лет; ЧП	1	лш зм, дм	ОСК (40×50 м, 120 м, 14%) ОСК (40×40 м, 120 м, 11%)	МПТ МПТ	ПМРП (30 %) ГМРП (20 %) В-3	
			2	лш зм, дм	ОСК (40×50 м, 130 м, 12%) ОСК (40×40 м, 130 м, 10 %)	СП, МПТ СП, МПТ	ПМРП (20 %), ПОВ ГМРП (15 %), ПОВ
			3	лш зм, дм	ОСК (30×30 м, 130 м, 7 %) –	СП СП	ПОВ ПОВ
Лесостепь	<u>20 м (З–В)</u> 5 лет; ЧП-НП	1	лш зм-мтр, зл-мтр	– –	МПТ МПТ	ПМРП (15 %), ГМРП (10 %, В–3)	
			2	лш зм-мтр, зл-мтр	– –	СП, МПТ	ПМРП (10 %, ПОВ) ГМРП (5 %, В–3), ПОВ
			3	лш зм-мтр, зл-мтр	–	СП СП	ПОВ ПОВ

Примечание. \* – в скобках направление лесосек; \*\* – при отводе лесосек в рубку. Сокращения: ОСК – оставление семенных куртин (размеры, расстояние между их центрами, доля общей площади вырубки); СП – сохранение подраста; МПТ – минерализация почвы в ходе трелевки древесины; ПМРП – поверхностная минерализация и рыхление почвы; ГМРП – глубокая минерализация почвы с рыхлением дна борозд, В–3 – направление борозд с востока на запад; ПОВ – противопожарная опашка вырубок. Группы типов и типы леса: лш – лишайниковая, зм – зеленомошная, дм – долгомошная, бг-дм – багульниково-долгомошный, зл-мтр – злаково-мелкотравный, зм-мтр – зеленомошно-мелкотравный. Примыкание лесосек: ЧП – чересполосное, ЧП-НП чересполосно-непосредственное.

структуры древостоев, семеношения и возобновляемости сосны мало отличаются от таковых в предлесостепи (Санников С. Н., 1992).

Способы рубки, аналогичные предложенным для предлесостепи, определены и для сосновых лесов других подзон и типов леса Западной Сибири – северной и средней тайги (табл. 2). Они рассчитаны на основе ранее установленных нами зональных различий в семеношении и высоте модальных древостоев, дальности распространения семян от них, а также кривых выживания подраста сосны (Санников С. Н. и др., 2004).

**Северная и средняя тайга.** Как показано ранее (Санников С. Н., 1992), параметры семеношения и возобновляемости ценопопуляций сосны на минерализованном субстрате в зонально замещающих топоэкологически аналогичных типах сосновых лесов подзон север-

ной и средней тайги довольно близки, поэтому способы рубок и оптимизации возобновления сосны для этих подзон обобщены (см. табл. 2).

Основным способом рубок, соответствующим биологии популяций сосны, во многом имитирующим последствия циклических пожаров или ветровалов, является чересполосный. В лесах промышленной зоны допустима ширина вырубок до 500 м (длиной не более 1000 м), ориентированных с севера на юг, с направлением рубки с востока на запад и примыканием вырубок второго заруба через 7 лет. При западной розе ветров это содействует их лучшему обсеменению и сохранности семенных куртин и стен леса от ветровала.

На вырубках со стенами леса семенные куртины должны быть оставлены, начиная с расстояния от стены леса, равного сумме трех средних высот древостоя от них плюс полови-

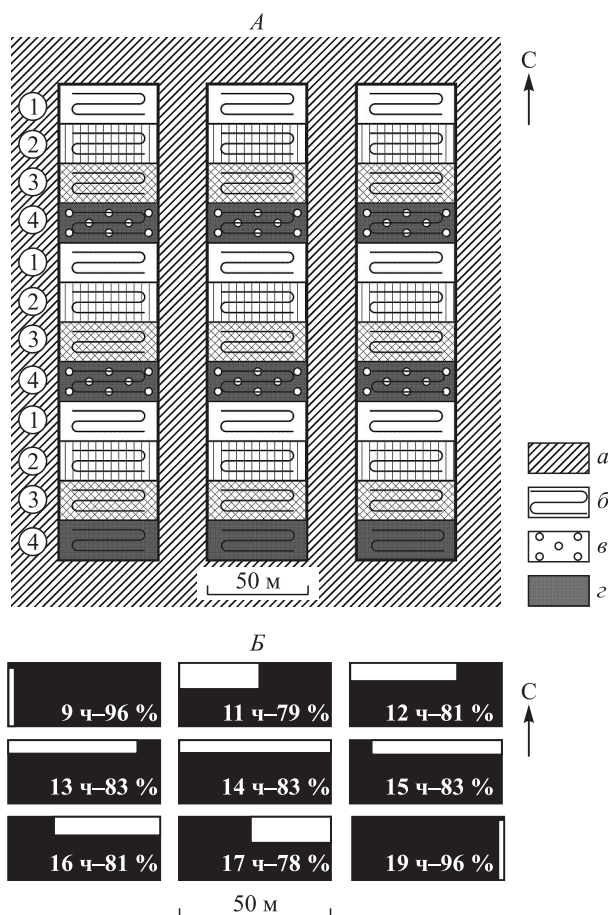
на дистанции от опушки куртины до середины межкуртинного расстояния. Размеры семенных куртин уменьшаются с  $50 \times 50$  м (17–21 % площади лесосеки) при балле обилия сохранившегося после рубки жизненного подроста, равном 1, до  $40 \times 40$  м (11 %) при балле 2 и до  $30 \times 30$  м (7 %, оставляемых как пожарный семенной резерв) при балле 3.

Минимально достаточное последующее возобновление сосны обеспечивается при расстоянии между центрами равномерно размещенных семенных куртин от 110 до 130 м и относительной площади рыхления почвы (с помощью дисковых борон или фрез) 30 % при балле обилия подроста 1 или 20 % при балле 2. На летних вырубках дополнительным резервом минерализации поверхности почвы служит частичное обнажение ее минерально-горизонта в процессе трелевки древесины.

Важнейшим ресурсом обеспечения нормы возобновления сосны, а также, что не менее важно, и воспроизводства материнского генофонда популяций на всех вырубках с обилием подроста предварительных генераций 2 и 3 балла является его сохранение в ходе рубки. Оно может быть обеспечено путем применения одной из схем «узкопосечных» технологий рубки, которые могут быть адаптированы и к новым системам лесозаготовительной техники. На всех вырубках обязательна противопожарная опашка вырубков минерализованными полосами.

**Лесостепь.** Принципиально иные подходы к выбору способа и параметров рубки, обеспечивающих успешное возобновление ценопопуляций сосны, следует применять для островных сосновых лесов лесостепной зоны, где уровни семеношения древостоев в несколько раз выше, чем в лесной (Санникова, 2009), а лимитирующую роль в возобновлении сосны играют, главным образом, дефицит влажности почвы, избыточная инсоляция и конкуренция травянистой растительности (Симон, 1934; Карпов, 1954; Грибанов, 1960; Санников С. Н., 1992; Санникова, 2009; Салтыков, 2014). Дневная инсоляция вызывает здесь летальное повышение температуры поверхности напочвенного субстрата (до  $75\text{--}80^\circ\text{C}$ ), особенно при дефиците его увлажнения, и массовую гибель проростков и всходов сосны.

Ведущим принципом выбора оптимального способа рубки в борах лесостепи и степи



**Рис. 6.** Схема чересполосно-котловинной рубки (А) и дневной динамики площади затенения (%) котловин в день летнего солнцестояния на широте  $55^\circ$  (Б) в островных борах подзоны лесостепи.

1–4 – последовательность вырубки котловин с 5-летним сроком примыкания, а – массив соснового леса, б – схема обработки почвы в котловинах, в – лесосеки 4-го заруба с древостоем сосны, г – затененная доля поверхности котловины.

должно быть ограничение ширины вырубки до ширины полосы полуденной тени, отбрасываемой южной и другими стенами леса. В день максимальной летней высоты стояния солнца ( $54^\circ 21'$ ) в зоне  $55^\circ$  с. ш. она составляет 15.5 м. Поэтому здесь наиболее приемлемы чересполосно-котловинные рубки с шириной лесосеки до 20 м, длиной до 50 м (площадью 0.1 га), ориентированной с запада на восток, с обязательным направлением рубки с севера на юг (рис. 6).

При этом западная и восточная стены (кулисы) древостоя обеспечивают дополнительное обсеменение, а также затенение смежных полос вырубки до и после полудня. В общем, в течение наиболее жаркой части дня – с 9 до 21 ч – обеспечивается затенение от 82 до 96 % площади котловин (рис. 6, Б). Непосредствен-

ное примыкание лесосек целесообразно через 5 лет – после завершения последующего возобновления сосны. Обильная инсеминация котловин (на уровне около 75 % от урожая семян в лесу), затенение почвы и возобновление сосны на вырубках происходят от трех стен леса – южной, западной и восточной. Исследования в борах южной лесостепи Курганской области (Санникова, 2009) показали вполне успешное последующее возобновление сосны (до 18–25 тыс. экз. · га<sup>-1</sup> самосева) на котловинных вырубках шириной 15–30 м (Санников С. Н., 1992). Успешное предварительное возобновление сосны под пологом обсеменительных кулис (последнего заруба) может быть стимулировано поверхностной полосной минерализацией 15–20 % их площади (Харлов, 2006) одновременно с рубкой лесосеки предыдущего заруба.

При отсутствии или плохом предварительном возобновлении сосны ее достаточное последующее возобновление (свыше 3–5 тыс. экз. на 1 га жизненного подроста старше 5 лет) обеспечивается, если минерализовано 10–15 % поверхности почвы котловины. Подготовка субстрата под самосев выполняется путем ее поверхностного рыхления (обнажения от лесной подстилки) на вырубках в борах лишайниковых и «глубокой» минерализации почвы с помощью нашего агрегата глубокими бороздами (30 см) в направлении с запада на восток в остальных типах леса. При этом южный откос и отвал пласта плужной борозды также будут выполнять функцию микроклиматической защиты всходов сосны от дневной инсоляции.

В процессе рубки и трелевки древесины на лесосеках с баллами обилия подроста сосны 2 и 3 обязательны меры по его сохранению. Все вырубки сразу после рубки опахиваются протипопожарной минерализованной полосой.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сосна обыкновенная в отличие от видов темнохвойных как эксплерент-пирофит и петропсаммофит наиболее адаптирована к естественному возобновлению популяций на открытых местообитаниях – горях или механически эродированных аренах с мозаично сохранившейся структурой древостоя и обсе-

менения. Поэтому в качестве основного принципа организации лесоводственной системы «рубка–возобновление» в сосновых лесах на дренированных почвах лесной зоны приемлемы сплошнолесосечные рубки с инсеминацией от стен леса или семенных куртин и достаточной минерализацией поверхности почвы.

Высокая возобновительная эффективность этой системы с применением оригинального агрегата для экологически оптимальной минерализации почвенного субстрата (с его одновременным рыхлением) экспериментально показана на примере преобладающих типов сосновых лесов подзоны предлесостепи Западной Сибири. Обоснованы лесоводственно-экологические и репродуктивно-генетические преимущества оставления семенных куртин вместо отдельных семенных деревьев.

С помощью методов имитационного математического моделирования параметров плотности жизненного самосева сосны в зависимости от площади и размещения семенных куртин, стен леса и степени минерализации почвенного субстрата определены параметры системы «рубка–возобновление», гарантирующие успешность последующего возобновления сосны в преобладающих группах типов леса подзоны предлесостепи (при разных уровнях численности сохранившегося подроста предварительных генераций).

На основе параметров структуры и возобновления ценопопуляций сосны в различных подзонах и типах леса Западной Сибири разработана дифференцированная система рубок и мер оптимизации возобновления в климатически (зонально) замещающих типах сосновых лесов Западной Сибири на эколого-географической основе. Ее принципы в лесной зоне сводятся к чересполосным рубкам с инсеминацией вырубок от семенных куртин и стен леса, а в лесостепи – к котловинным с обсеменением и затенением от окружающих стен леса в обеих зонах с достаточной минерализацией и рыхлением поверхности почвы.

Подходы и методы предлагаемой системы «рубка–возобновление» применимы в равнинных сосновых и лиственнично-сосновых лесах Западной Сибири, а с некоторыми модификациями – и в географически замещающих типах леса предгорий и плато Карелии, Зауралья, Средней Сибири и Центральной Якутии.

*Авторы выражают искреннюю благодарность всем коллегам Института экологии растений и животных УНЦ АН СССР–УрО РАН и Ботанического сада УрО РАН, а также Тугулымского лесхоза Свердловского областного управления Федеральной службы лесного хозяйства РФ, оказавшим содействие в проведении исследований и полевых экспериментов.*

*Работа выполнена при поддержке Комплексных программ Уральского отделения РАН (проекты № 15-12-4-13 и 15-12-4-21).*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Грибанов Л. Н. Степные боры Алтайского края и Казахстана. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1960. 156 с.
- Исаков Ю. Н. Эколого-генетическая изменчивость и селекция сосны обыкновенной: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. СПб., 1999. 36 с.
- Карпов В. Г. О влиянии среды степных боров на устойчивость подроста сосны к засухе // Учен. зап. ЛГУ. 1954. Вып. 156. № 9. С. 3–33.
- Некрасова Т. П. Пыльца и пыльцевой режим хвойных Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1983. 168 с.
- Побединский А. В. Сосновые леса Средней Сибири и Забайкалья. М.: Наука, 1965. 268 с.
- Райт Д. В. Введение в лесную генетику. М.: Лесн. пром-сть, 1978. 471 с.
- Ромедер Э., Шёнбах Г. Генетика и селекция лесных пород. М.: Сельхозиздат, 1962. 268 с.
- Салтыков А. Н. Структурно-функциональные особенности естественного возобновления Придонецких боров. Харьков: Харьковск. нац. аграрн. ун-т, 2014. 361 с.
- Санников Д. С. Имитационное моделирование плотности самосева сосны в зависимости от инсеминации и степени минерализации поверхности почвы // Наука о лесе XXI века. Гомель: Ин-т леса НАН Беларуси, 2010. С. 273–277.
- Санников С. Н. Экологические особенности главных типов микросреды естественного возобновления сосны на сплошных вырубках // Физиология и экология древесных растений. Свердловск, 1965. Вып. 43. С. 231–242.
- Санников С. Н. Циклически-эрозионно-пирогенная теория естественного возобновления сосны обыкновенной // Экология. 1983. № 1. С. 10–20.
- Санников С. Н. Экология и география естественного возобновления сосны обыкновенной. М.: Наука, 1992. 264 с.
- Санников С. Н., Петрова И. В. Дифференциация популяций сосны обыкновенной. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 247 с.
- Санников С. Н., Санников Д. С., Токарев Б. В. Агрегат для подготовки лесной почвы (описание изобретения к патенту Российской Федерации № 2183918). М., 2002. С. 1–10.
- Санников С. Н., Санникова Н. С. Лес как подземно-сомкнутая дендроценоэкосистема // Сиб. лесн. журн. 2014. № 1. С. 21–30.
- Санников С. Н., Санникова Н. С., Петрова И. В. Естественное лесовозобновление в Западной Сибири (эколого-географический очерк). Екатеринбург: УрО РАН, 2004. 199 с.
- Санников С. Н., Санникова Н. С., Петрова И. В. Очерки по лесной популяционной биологии. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2012. 270 с.
- Санникова Н. С. Микроэкосистемный анализ ценопопуляций древесных растений. Екатеринбург: Наука. УрО РАН, 1992. 65 с.
- Санникова Н. С. Микроэкосистемный анализ структуры и функций лесных биогеоценозов // Экология. 2003. № 2. С. 90–95.
- Санникова Н. С. Стадии онтоценогенеза древостоев, фитосреды и возобновления сосновых лесов предлесостепи Западной Сибири // Генетическая типология, динамика и география лесов России. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. С. 115–120.
- Симон Ф. Ф. Результаты изучения некоторых условий возобновления сосны с соображениями о рубках в сосняках // Изв. Уральск. лесотехн. ин-та. 1934. Вып. 2. С. 1–68.
- Туманов И. И. Физиология закаливания и морозостойкости растений. М.: Наука, 1979. 350 с.
- Харлов И. Ю. Содействие естественному возобновлению сосны в типах леса с ярко выраженной сменой пород (в условиях лесостепи Западной Сибири): автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Екатеринбург, 2006. 22 с.

- Шварц С. С.* Эволюция биосферы и экологическое прогнозирование: докл. на юбил. сессии АН СССР, посвящ. 250-летию АН СССР. М., 1974. 24 с.
- Geburek T., Turok J.* (Eds.) Conservation and Management of Forest Genetic Resources in Europe. Zvolen: Arbora Publ., 2005. P. 651–667.
- Koski V.* A study of pollen dispersal as a mechanism of gene flow in conifers // Comm. Inst. For. Fenn. 1970. N. 4. 70 p.
- Koski V.* Embryonic lethals of *Picea abies* and *Pinus sylvestris* // Comm. Inst. For. Fenn. 1971. N. 3. P. 1–30.
- Lanner R. M.* Seed dispersal in *Pinus* // Ecology and biogeography of *Pinus* / D. M. Richardson (Ed.) // N.Y., Melbourne, Madrid, Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1998. P. 281–295.
- Lyr H., Polster H., Fiedler H. J.* Gehölzphysiologie. Jena: Fischer, 1967. 444 S.
- Rowe J. S., Scotter G. W.* Fire in the boreal forest // Quarter. Res. 1973. V. 3. P. 444–464.
- Sannikova N. S., Bolshakov V. N., Sannikov S. N.* Geography of postfire natural regeneration of pine forests in Northern Eurasia // Boreal forests in a changing world: challenges and needs for action. Proc. Int. Conf., Aug. 15–21, 2011. Krasnoyarsk: V. N. Sukachev Inst. Forest, SB RAS, 2011. P. 169–174.
- Sarvas R.* Investigations on the flowering and seed crop of *Pinus sylvestris* // Comm. Inst. For. Fenn. 1962. V. 53. N. 4. P. 1–198.
- Stern K., Roche L.* Genetics of forest ecosystems // Ecol. Stud. Berlin: Springer, 1974. 330 p.
- Strand L.* Pollen dispersal // Silvae Genet. 1957. V. 6. P. 129–136.

## **Felling-System and Regeneration of Pine Forests on Ecological-Genetic-Geographical Basis**

**S. N. Sannikov, D. S. Sannikov**

*Botanical Garden, Russian Academy of Sciences, Ural Branch*

*8 Marta str., 202, Yekaterinburg, 620144 Russian Federation*

E-mail: stanislav.sannikov@botgard.uran.ru

A conception of the adaptation of Scots pine populations to the natural regeneration on open sites with the mosaic retained stand and mineralized soil surface on the basis of the ecological-genetic-geographical investigations in the forests of the Russia and the theory of petropsammofitness-pyrofitness (Sannikov S. N., 1983) has been substantiated. The methods of clear cuts with the seeding from surrounding forest, seed curtains and sufficiently extent of the substrate preparation for the pine selfsown have been selected and elaborated as a main organization principle of the system «felling-regeneration» in the plains pine forests of the forest zone. High regeneration efficiency of this system with the application of original aggregate for the optimal mineralization of the soil substrate (with its synchronous loosening) has been shown on the example of dominating pine forest types in the subzone for-forest-steppe of the Western Siberia. The silvicultural-ecological and reproductive-genetic advantages of retaining seed curtains instead of separate seed trees have been substantiated. The basic parameters of the system «felling-regeneration», which guarantee a sufficient success of the following pine regeneration in the for-forest-steppe subzone, have been determined with the help of the methods of the mathematical imitation modeling of the pine selfsown density depending on the area and localization of seed curtains, surrounding forest and the extent of the substrate mineralization. The zonal differentiated system of the fellings and measures for the regeneration optimization in the climatically substituting pine forest types in the Western Siberia has been elaborated according to the parameters, studied earlier, on the ecological-genetic-geographical basis. The principles of this system in forest zone come to the clear strip-fellings with insemination of cuts from the seed curtains and forest walls, and to the hollow-fellings with the insemination and shading from the surrounding forest walls in the forest-steppe (with the sufficiently mineralization of soil surface in both zones). The approaches and methods of proposed system «felling-regeneration» have been recommended for the plains pine and larch-pine forests of the Western Siberia and geographically substituting forest types in other regions.

**Keywords:** *Scots pine, ecology, genetics, geography, natural regeneration, logging, Western Siberia.*

**How to cite:** *Sannikov S. N., Sannikov D. S. Felling-system and regeneration of pine forests on ecological-genetic-geographical basis // Sibirskij Lesnoj Zhurnal (Siberian Journal of Forest Science). 2015. N. 6: 3–16 (in Russian with English abstract).*