

ОРИГИНАЛЬНЫЕ  
СТАТЬИ

УДК 630\*221.04: 630\*181.41

**ВОССТАНОВИТЕЛЬНАЯ ДИНАМИКА  
ПИХТОВО-ЕЛОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ  
ПРИ ВЫБОРОЧНОМ ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИИ**

© 2011 г. В. В. Иванов, А. Н. Борисов

*Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН  
660036 Красноярск, Академгородок, 50  
E-mail: institute\_forest@ksc.krasn.ru  
Поступила в редакцию 30.03.2010 г.*

Изучена динамика восстановления пихтово-еловых древостоев при выборочных рубках. Предложена имитационная модель, описывающая процесс прироста по диаметру ствола с учетом условий местообитания, расстояния до соседних деревьев и их диаметров на высоте 1.3 м. Верификация модели выполнена по натурным данным пробных площадей пихтово-еловых насаждений. Предложенная модель позволяет описывать в темнохвойных древостоях динамику запаса древесины, густоты, прироста, распределения по ступеням толщины и т.д. На основе моделирования различных сценариев выборочных рубок предлагаются оптимальные виды, объемы рубок и их периодичность с учетом конкретных характеристик древостоев.

*Темнохвойные древостои, выборочные рубки, динамика восстановления, имитационное моделирование.*

Перевод хозяйств с краткосрочного освоения лесов на устойчивое лесопользование является актуальной задачей. Это возможно лишь при переходе на принцип непрерывного и неистощительного пользования лесом. В теоретическом аспекте этот принцип научно обоснован, но приемы и способы практической реализации его задач пока не разработаны. Большинство лесоводов отмечает, что выборочными и постепенными рубками можно увеличить продуктивность насаждений, сократить оборот рубки, снизить затраты на лесовосстановление и получить значительный лесоводственный и хозяйственный эффект [11–13]. Выборочные рубки предусматривают периодическое удаление части деревьев определенного возраста, размеров, качества или состояния. Площадь, пройденная рубкой, остается постоянно покрытой лесом при сомкнутости не менее 0.4–0.5 и сохраняет способность выполнения водоохранно-защитных функций.

С точки зрения концепции неистощительного лесопользования темнохвойные древостои выделяются тем, что способны после несплошных рубок восстанавливать свою первоначальную структуру. Данная работа посвящена изучению влияния несплошных рубок разной интенсивности на структуру пихтово-еловых разновозраст-

ных древостоев, ее динамику во времени, а также разработке рекомендаций по применению таких рубок в темнохвойных лесах подзоны южной тайги.

#### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Объектом исследований явились темнохвойные древостои Кеть-Чулымского лесорастительного округа южно-таежных и подтаежных лесов [8]. На территории Большемуртинского лесничества Красноярского края в 1979 г. для установления оптимальной интенсивности выборки запаса на четырех участках применялись разные варианты несплошных рубок. Площадь каждого участка в среднем составила около 5 га. Участок 1 был оставлен без изменения, в качестве контроля. Участок 2 – вариант добровольно-выборочной рубки (25–30% от запаса), 3 – интенсивно-выборочной (40–50% от запаса), 4 – длительно-постепенной (60–70% от запаса), 5 – сплошнолесосечной рубки (95% от запаса). На каждом участке заложена постоянная пробная площадь, где проводились повторные наблюдения [6].

Предназначенный для рубки древостой характеризовался высокими показателями запаса древесины (в среднем около 400 м<sup>3</sup>га<sup>-1</sup>), полно-

той 1.0, средней производительностью (III класс бонитета), наличием сухостоя 9.8–13.5%. В первом ярусе преобладали ель (200–220 лет) и пихта (160–180 лет). Второй ярус представлен пихтой (90–110 лет) с участием ели (120–140 лет). В подросте – пихта (около 3–4 тыс. шт. га<sup>-1</sup>) с небольшим участием ели и единичными экземплярами кедра. Подрост относительно равномерно распределен по площади, встречаемость – 87%. Всходы и самосев приурочены к старому валежнику, что и определяет неравномерность распределения их по площади. На средний и крупный подрост (20–40-летнего возраста) приходится около 2 тыс. шт. га<sup>-1</sup>.

Основой для анализа строения темнохвойных древостоев являются закономерности распределения числа стволов по ступеням толщины [16]. Поэтому для установления динамики структуры древостоев использовались данные перечета числа стволов на пробных площадях до рубки и на протяжении двадцати пяти лет после нее. В ходе анализа данных перечетов производился подбор уравнения, позволяющего описать характер распределения деревьев на пробной площади. Наиболее пригодной оказалась экспоненциальная функция [7].

В целом эффективность проводимых мероприятий с хозяйственной точки зрения может быть оценена, исходя из показателей послерубочного отпада и прироста запаса древостоя. Также должна быть учтена динамика породного состава древостоя с точки зрения сохранения доминирующей роли наиболее ценной в хозяйственном плане породы.

Прирост запаса древостоя рассчитывался по классической формуле:

$$M_{\text{пр}} = (M_A - M_{A-N} - M_{\text{отп}})N^{-1}, \quad (1)$$

где:  $M_{\text{пр}}$  – прирост запаса древостоя, м<sup>3</sup> га<sup>-1</sup>;  $M_A$ ;  $M_{A-N}$  – запас древостоя (м<sup>3</sup> га<sup>-1</sup>) на данный момент и  $N$  лет назад, соответственно;  $M_{\text{отп}}$  – запас отпада за исследуемый период, м<sup>3</sup> га<sup>-1</sup>;  $N$  – число лет в периоде между двумя обмерами.

При изучении динамики роста древостоя эффективным инструментом может выступить имитационное моделирование роста деревьев в древостое, учитывающее характеристики отдельных особей, их пространственное размещение и конкурентные отношения. В экологическом плане большой интерес представляют модели, в которых рассматривается конкуренция за те или иные ресурсы [2, 4, 19].

Для описания динамики роста конкуренции и отпада пихтово-еловых древостоев предлагается

модель, определяющая прирост по диаметру ствола в зависимости от взаимных размеров взаимодействующих особей и расстояний между ними. Уравнение роста  $i$ -го дерева записывается как:

$$\frac{dx_i}{dt} = kx_i \left( R_i - \frac{x_i}{x_m} \right), \quad (2)$$

где  $x_i$  – диаметр ствола  $i$ -го дерева;  $k$  – масштабный коэффициент;  $x_m$  – максимальный диаметр дерева, зависящий от породы, условий местобитания и т.д.;  $R_i$  – описывает конкурентное воздействие на  $i$ -е дерево.

Предполагается, что  $R_i$  – безразмерная величина, равная единице для свободно растущего дерева, не испытывающего конкурентного влияния; влияние одного дерева на другое есть функция их размеров и расстояния между ними; любое взаимодействие с соседними деревьями уменьшает  $R_i$ , а совместное влияние нескольких соседей на данное дерево учитывается в мультипликативной форме.

На основе сделанных предположений  $R_i$  можно записать в виде:

$$R_i = \prod_{t \neq j} R_{ij}, \quad (3)$$

$$R_{ij} = A^{-b_{ij}}, \quad (4)$$

$$b_{ij} = \begin{cases} \langle x \rangle \frac{x_j}{x_i} \left( \frac{1}{r_{ij}} - \frac{1}{r_{int}} \right), & r_{ij} < r_{int} \\ 0, & r_{ij} \geq r_{int} \end{cases}, \quad (5)$$

где  $R_{ij}$  – величина, определяющая конкурентное воздействие  $j$ -го дерева на  $i$ -е;  $\langle x \rangle$  – средний диаметр стволов;  $x_i$ ,  $x_j$  – диаметры стволов  $i$ -го и  $j$ -го деревьев соответственно;  $r_{ij}$  – расстояние между  $i$ -м и  $j$ -м деревом;  $r_{int}$  – расстояние конкурентного взаимодействия;  $A$  – параметр.

Густота древостоя определяется напряженностью конкурентных отношений, приводящих к отпаду особей. Для определения критерия отпада используются различные подходы [2, 18]. В данной модели принято, что отпад происходит при  $dx/dt < 0$ . По выполнении этого условия дерево из дальнейшего рассмотрения исключается.

Для реализации этой модели было разработано программное обеспечение. Пространственное размещение особей генерировалось программой таким образом, чтобы показатели структуры древостоя соответствовали характеристикам пробной площади. Чтобы избежать влияния краевых эффектов, использовалось замыкание границ в форме тора [18]. Сложность процесса роста и цено-

тических взаимодействий деревьев в насаждении не позволяет в рамках одной модели одинаково хорошо описать рост всходов, подроста и особей различного класса возраста. В предложенной модели рассматриваются деревья с диаметром ствола на высоте 1.3 м не менее 4 см. Для каждого  $i$ -го дерева с шагом в один год анализировалось расположение ближайших соседей. Воздействие соседей на дерево в соответствии с уравнением (4) выражается в мультипликативной форме. В этом случае каждое соседнее дерево уменьшает доступный ресурс особи. Размер дерева в любой момент времени есть результат интегрального воздействия соседей на протяжении роста рассматриваемой особи.

В качестве претендентов на ближайших соседей рассматривались те деревья, которые находились от  $i$ -го дерева на расстоянии  $r_{int}$ , не превышающем расстояния взаимодействия для  $j$ -го дерева с  $i$ -м. Поскольку в условиях местообитания для рассматриваемых древостоев лимитирующим фактором роста были минеральные вещества и влага, то расстояние взаимодействия между отдельными особями определялось размерами корневой системы. Расстояние, на которое прорастают корни ели и пихты, составляет порядка 10–20 диаметров ствола [17], поэтому расстояние взаимодействия рассчитывалось как  $r_{int} = k(x_i + x_j)$ , где  $k$  варьировалось от 10 до 20.

Исходя из размещения и размеров соседей, вычислялся прирост  $i$ -го дерева в соответствии с уравнениями (2)–(5). После этого определялись деревья, перешедшие в отпад. Ветровал вносит существенный вклад в динамику запаса древостоя, и за этот процесс отвечает отдельный блок программы. Вероятность вывала дерева определяется его размерами и зависит от полноты древостоя. Учитывалось, что при интенсивных рубках ветровал может достигать 50% от запаса [3, 7]. Разработанное программное обеспечение позволяет проследить динамику роста и отпада особей и для любого момента моделируемого периода получить данные по запасу, густоте, приросту, отпаду, распределению по ступеням толщины и т.д.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При несплошной рубке происходит изменение условий роста не вырубленных деревьев. Как известно, хорошим критерием оценки воздействия природных и антропогенных факторов на древостой может служить текущий прирост по запасу наличного древостоя [1, 5, 9]. Этот показатель позволяет за сравнительно короткое время

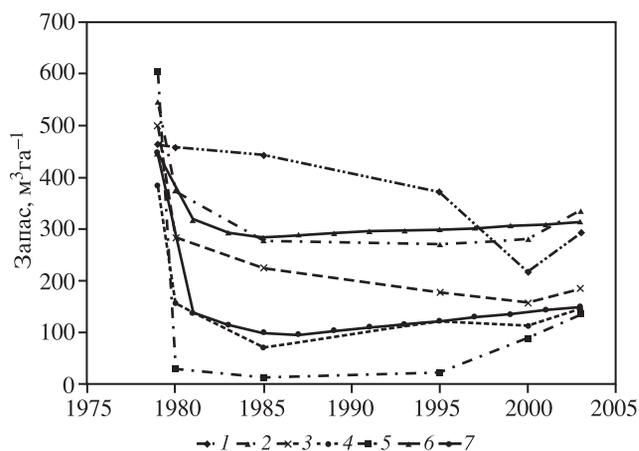


Рис. 1. Динамика запаса древесины на пробных площадях и по данным моделирования:

1 – контроль, 2 – после рубки с интенсивностью 30% от запаса, 3 – 50%, 4 – 70%, 5 – 95%, 6 – 30% (модель), 7 – 70% (модель).

объективно определить реакцию древостоя на изменение условий местообитания [10].

Изменение структуры древостоя влияет на динамику его запаса. После проведения выборочных рубок проводились повторные учеты в 1980, 1985, 1995, 2000 и 2004 годах. Полученные данные служили основой для оценки эффективности лесохозяйственного мероприятия, в нашем случае – опытной несплошной рубки. На рис. 1 представлено изменение запасов в древостоях, пройденных несплошной рубкой. Вычисление объемов одного дерева проводилось в соответствии с таблицами объемов стволов для южнотажных лесов Средней Сибири [15].

Из приведенных данных видно, что древостой на участке 2 значительно увеличивает запас, начиная с 1995 г. На участке 3 через 20 лет наблюдается некоторая стабилизация запаса. На участках 4 и 5 в относительных величинах прирост запаса древостоя значителен, однако увеличение запаса в абсолютных величинах невелико и восстановление древостоем первоначального запаса займет значительный период времени. На контрольной пробной площадке наблюдалось уменьшение запаса древостоя, и только за последние 5 лет текущий прирост превысил отпад. Анализ полученных данных позволяет сказать, что это происходит вследствие разрушения материнского полога, состоящего в основном из ели, и перехода доминирующего положения к пихте.

Наряду с изменением запаса, послерубочный отпад в древостое является одним из основных показателей эффективности того или иного способа рубки, и в первую очередь – его соответ-

**Таблица 1.** Структура отпада деревьев в пихтово-еловых древостоях через 5 лет после рубки

Номер участка	Интенсивность рубки, %	Запас древостоя, м <sup>3</sup> га <sup>-1</sup>	Ветровал, шт га <sup>-1</sup> (м <sup>3</sup> га <sup>-1</sup> )	Бурелом, шт га <sup>-1</sup> (м <sup>3</sup> га <sup>-1</sup> )	Итого, шт га <sup>-1</sup> (м <sup>3</sup> га <sup>-1</sup> )	Отпад, % от запаса на 1 га
1	Контроль	440.2	6 (2.3)	17 (14.5)	23 (16.8)	3.8
2	30	324.3	9 (4.6)	42 (44.9)	51 (49.5)	15.3
3	50	244.8	8 (3.9)	22 (21.0)	30 (24.9)	10.2
4	70	123.2	10 (8.8)	72 (56.3)	82 (65.1)	52.8
5	95	23.6	8 (1.6)	24 (5.4)	32 (7.0)	29.7

ствие структуре древостоя и специфике лесорастительных условий [3]. Вывалы деревьев под воздействием ветра характерны для спелых и перестойных насаждений. Для разновозрастных древостоев из ели и пихты это явление описано в работе Д.П. Столярова и В.Г. Кузнецовой [14]. На основании многолетних исследований авторы отмечают, что величина отпада меняется мало и составляет 5–15% от запаса.

Анализ данных об объеме, характере ветровала и бурелома на пробных площадях за первые пять лет после рубки показал, что ветровал представлен в основном елью, а бурелом – пихтой. Это объясняется сугубо поверхностной корневой системой у ели, низкими механическими свойствами древесины и наличием центральной гнили у пихты. Объем ветровала и бурелома в первый год после рубки на участке 2 составил 1.2–2.7% от запаса, а на участках 3 и 4 не превысил 3–5%. Данные об объемах отпада за первые пять лет после рубки приведены в табл. 1. Как можно заметить, при увеличении интенсивности рубки до 50% от запаса и более относительные объемы ветровала и бурелома значительно возрастают.

В последующее десятилетие отпад на пробных площадях уменьшается и не превышает средних значений (3–5%) для насаждений в данных условиях. Это говорит о том, что древостой, оправившись после нарушения через 15–25 лет, в зависимости от интенсивности рубки, восстанавливает сбалансированное состояние.

Запас древесины пихтово-еловых спелых и перестойных древостоев большей частью представлен крупными деревьями с наличием центральной гнили и других пороков древесины, снижающих ее коммерческую ценность. Поэтому при выборочном хозяйстве важной задачей является установление оптимального отпускного диаметра и сроков проведения последующих приемов рубки в период максимального накопления запаса коммерчески ценной крупномерной древесины.

К сожалению, рассмотреть динамику восстановления после выборочных рубок на большом временном интервале не представляется возможным. Большая продолжительность восстановительных процессов во времени является основной проблемой, с которой сталкивается исследователь. Один из способов ее решения – использование методов математического моделирования. Переход от описания прироста отдельного дерева в соответствии с уравнениями (2)–(5) к имитационному моделированию динамики древостоя является качественным, когда сообщество рассматривается не просто как рост совокупности отдельных особей. Имитационное моделирование позволяет исследовать этот процесс с точки зрения изменяющихся ценотических взаимодействий.

Верификация модели, описанной выше, осуществлялась на основе данных пробных площадей. Параметры модели подбирались методом имитационного моделирования таким образом, чтобы рост особей и отпад происходили так же, как и на пробных площадях. Некоторые параметры определялись с использованием таблиц хода роста и результатов исследований по елово-пихтовым насаждениям, а другие подбирались методом имитационного моделирования. Константа  $x_m$  в уравнении (2) определяет максимальный диаметр дерева, зависящий от породы и условий местобитания, и оценивалась в соответствии с таблицами хода роста пихтово-еловых насаждений для района исследований, в котором были заложены пробные площади [15].

Параметр  $A$  в уравнении (4) влияет на величину прироста и отпада деревьев. Методом имитационного моделирования путем варьирования выбиралось значение  $A$ , при котором прирост и отпад в модели соответствовали данным натурных исследований.

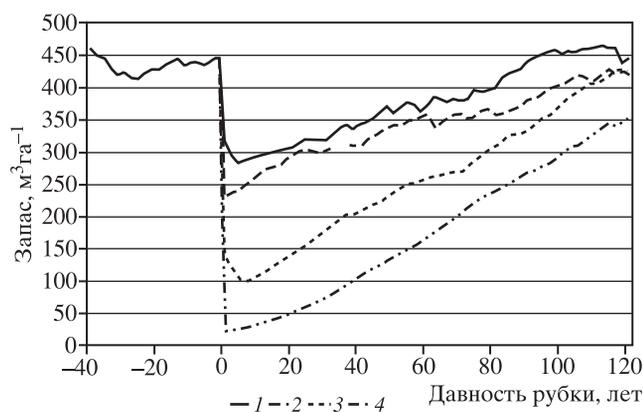
Процессы возобновления играют важную роль в динамике древостоя, и их учет необходим при изучении популяций на больших временных интервалах. Эти процессы нашли свое отражение в

программе имитационного моделирования и возложены на соответствующий блок, обеспечивающий генерацию деревьев 1-й степени толщины ( $d_{1,3} = 4$  см) в числе, соответствующем генерации этой категории подроста на пробных площадях. При моделировании учитывалось, что новые особи заселяют в первую очередь пространства, возникающие после отпада и вывала деревьев.

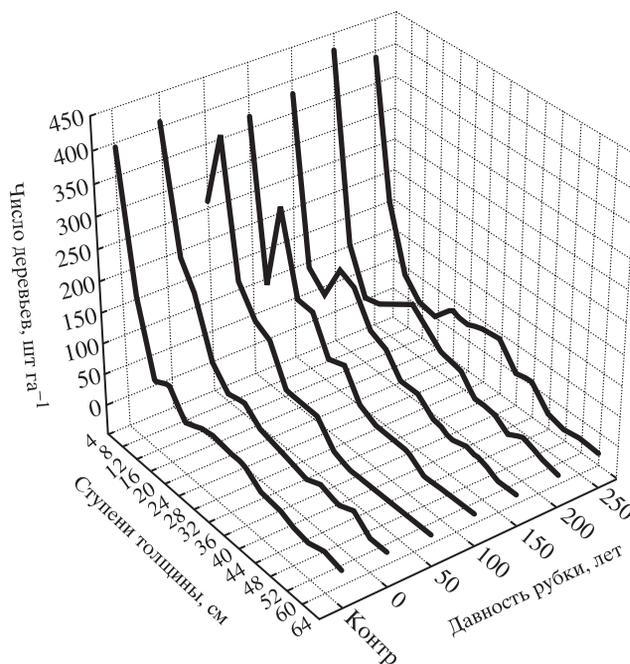
Изучение восстановительной динамики древостоя после рубок методом имитационного моделирования имеет и то важное преимущество, что позволяет на одном и том же объекте реализовать разные варианты хозяйственной деятельности. Это, в свою очередь, дает возможность провести корректное сравнение динамики при варьировании параметров рубок, поскольку не приходится учитывать различие в характеристиках объектов, как это происходит при одновременной реализации разных сценариев на разных объектах.

Динамика запаса древесины по результатам моделирования показана на рис. 2. Первые 40 лет соответствуют стационарному состоянию древостоя, а последующие 120 лет показывают динамику при проведении рубок интенсивностью от 30 до 95% по объему вырубаемой древесины. Моделирование показало, что уровень запаса, на который выходит древостой через 40 лет после рубки, определяется интенсивностью рубок. Аналогичные результаты получаются при моделировании рубок с периодичностью 60 и 80 лет. Модель обеспечивает хорошее совпадение динамики запаса после рубок с данными повторных обследований на пробных площадях (рис. 1).

Восстановление древостоя после рубок – сложный и многоплановый процесс. Он определяется интенсивностью рубок, применяемой технологией,



**Рис. 2.** Моделирование динамики восстановления запаса древесины после рубок разной интенсивности: 1 – после рубки с интенсивностью 30% от запаса, 2 – 50%, 3 – 70%; 4 – 95%.



**Рис. 3.** Распределение деревьев по ступеням толщины на контрольном участке и данные моделирования после рубки интенсивностью 50%.

степенью и характером минерализации напочвенного покрова, численностью и качеством сохраняемого подроста. В зависимости от условий местообитания и интенсивности рубок восстановление может проходить со сменой породного состава. Все эти вопросы требуют отдельного изучения и не рассматриваются в настоящей модели, поскольку ее параметры в данной работе подбирались для конкретных условий местообитания пихтОВО-еловых древостоев и технологии рубок.

Динамика распределения деревьев по ступеням толщины после рубок интенсивностью 50% отражена на рис. 3. Он показывает, что разреживание древесного полога провоцирует возникновение “волны возмущения” крупного подроста и молодняка, которая с течением времени перемещается на большие ступени толщины, обеспечивая восстановление запаса древесины и естественной структуры пихтОВО-еловых древостоев.

Известно, что увеличение затрат от усложнения технологии лесосечных работ при выборочных рубках компенсируется повышением производительности труда за счет увеличения среднего объема срубаемых деревьев. Максимальный выход пиломатериалов отмечается у деревьев, имеющих диаметр 32 см и более, поэтому для получения высокосортной коммерчески ценной древесины при выборочном лесопользовании оптимальный диаметр в данных насаждениях должен

**Таблица 2.** Отпускные диаметры и объемы вырубаемой древесины при выборочных рубках в пихтословых древостоях

Вариант рубки, % от запаса	Период повторения приемов рубки, лет	Объем вырубаемой древесины за один прием, м <sup>3</sup> га <sup>-1</sup>	Отпускной диаметр, см
30	40	91	37
	60	120	43
	80	140	45
50	40	130	27
	60	180	32
	80	190	34
70	40	130	20
	60	200	22
	80	240	23
	120	290	31

быть не менее 32 см. Для исследуемого региона такого диаметра эти породы достигают в возрасте 120 лет, что соответствует возрасту рубки.

С помощью имитационного моделирования была изучена динамика восстановления запаса древесины для различных периодов повторения приемов рубки. Полученные данные по отпускному диаметру и возможным объемам вырубаемой древесины в каждый прием приведены в табл. 2.

Добровольно-выборочные рубки – это лесохозяйственный вариант рубок главного пользования. В соответствии с существующими требованиями в первую очередь рубятся фаутные деревья, поэтому в первый прием рубок вырубается древесина с низкими качественными характеристиками, не имеющая лесозащитного значения. При этом виде рубок древесину рубят с интенсивностью до 30% от запаса, с периодом 40 лет, и такие рубки следует применять в спелых и перестойных разновозрастных древостоях на хорошо дренированных почвах, в лесах зеленых зон, водоохранных и почвозащитных лесах с развитой дорожно-транспортной сетью.

Расчетный период восстановления запаса при интенсивности рубки 40–50% для насаждений II – III класса бонитета, при количестве сохранных деревьев не менее 300–400 шт га<sup>-1</sup> составляет 60 лет, что и определяет срок повторяемости интенсивно-выборочной рубки. Эти рубки выдержали проверку в качестве промышленной альтернативы сплошным рубкам в разновозрастных хвойных насаждениях и позволяют выбрать лишь

половину запаса, но концентрированно и без длительного срока примыкания, что облегчает транспортное освоение территории и эксплуатацию лесов. При этих рубках периодически рубятся 20–30% деревьев, и размеры лесопокрытой площади остаются неизменными.

**Заключение.** Накопление запасов древостоя оптимально на участке, где проводилась выборочная рубка с интенсивностью не более 30% от запаса. Для этого варианта рубок характерна низкая величина послерубочного отпада. Можно сделать вывод, что для Кеть-Чулымского лесорастительного округа южно-таежных и подтаежных темнохвойных лесов приемлем вариант выборочной рубки с интенсивностью не более 30% от запаса и периодом повторения приемов рубки в 40 лет. Для рубок с интенсивностью до 50% от запаса необходимо увеличение периода проведения второго и последующих приемов до 60 лет.

Для темнохвойных древостоев вариант сплошной рубки интенсивностью 60–70% от запаса с лесоводственной точки зрения оказался неоправданным, а восстановление запаса до прежнего уровня происходит через 100–120 лет.

Таким образом, для выращивания долговечных устойчивых древостоев, соответствующих целевому назначению лесов, в насаждениях, выполняющих защитные функции, выборочные рубки должны быть менее интенсивными (до 30% от запаса). При выращивании коммерчески ценной древесины с максимальным выходом пиловочника следует применять рубки с интенсивностью до 50% от запаса с периодом проведения последующих приемов рубки через 60 лет.

Предложенная модель отражает не только основные особенности динамики темнохвойных насаждений, но и дает хорошее количественное совпадение таких характеристик как густота, запас древесины, распределение по ступеням толщины и прирост с данными натурных обследований на пробных площадях. Динамика восстановления после выборочных рубок также соответствует результатам проведенных периодических обследований. Метод имитационного моделирования является альтернативой экспериментам на больших временных интервалах и в то же время позволяет моделировать развитие древостоя с различными сценариями воздействия на него. Данный подход позволяет обоснованно предлагать оптимальные виды, объемы рубок и их периодичность с учетом конкретных характеристик древостоев и условий их произрастания.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антанайтис В.В., Загреев В.В. Прирост леса. М.: Лесн. Пром-сть, 1969. 240 с.
2. Борисов А.Н., Иванов В.А., Кузьмичев В.В. Имитационная модель динамики одновозрастных древостоев // Лесная таксация и лесоустройство. Красноярск: Красноярский политехнический ин-т, 1989. С. 20–25.
3. Волков А.Д. Биоэкологические основы эксплуатации ельников северо-запада таежной зоны России. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2003. 251 с.
4. Галицкий В.В. Горизонтальная структура и динамика одновозрастного растительного сообщества. Численное моделирование // Математическое моделирование биогеоценотических процессов. М.: Наука, 1985. С. 59–70.
5. Дворецкий М.Л. Текущий прирост древесины ствола и древостоя. М.: Лесн. пром-сть, 1964. 124 с.
6. Иванов В.В. Выборочные рубки в равнинных темнохвойных лесах // Информационный листок ЦБНТИ. 1981. N 356–81. 2 с.
7. Иванов В.В., Кузьмичев В.В., Оскорбин П.А. Изменение структуры темнохвойных древостоев при выборочных рубках // Лесная таксация и лесоустройство. Красноярск: СибГТУ, 2005. № 2. С. 39–44.
8. Лесные экосистемы Енисейского меридиана. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 326 с.
9. Лиена И.Я. Оценка влияния хозяйственных мероприятий на древостой // Оптимизация лесов СССР. М.: Наука, 1977. С. 54–57.
10. Лиена И.Я. Динамика древесных запасов: прогнозирование и экология. Рига: Зинатне, 1980. 170 с.
11. Мороз П.И. Выборочные рубки в таежных лесах. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 128 с.
12. Побединский А.В. Рубки главного пользования. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 192 с.
13. Поликарпов Н.П., Иванов В.В. Рубки главного пользования // Кедровые леса Сибири. Новосибирск: Наука, 1985. С. 206–226.
14. Столяров Д.П., Кузнецова В.Г. Разновозрастные ельники и ведение хозяйства в них. М.: Лесн. пром-сть, 1979. 167 с.
15. Справочное пособие по таксации и устройству лесов Сибири. Красноярск; Красноярское книжное изд-во, 1966. 378 с.
16. Тябера А.П. Принципы исследования строения древостоев по толщине деревьев // Лесн. журн. 1980. № 1. С. 5–8.
17. Усольцев В.А. Некоторые методические и концептуальные неопределенности при оценке приходной части углеродного цикла лесов // Экология. 2007. № 1. С. 3–12.
18. Ek A.R., Monserud R.A. Performance and comparison of stand growth models based on individual tree and diameter-class growth // Canad. J. Forest Res. 1979. N 9. P. 231–244.
19. Koocher A.A., Kofman G.B., Borisov A.N., Dachkovskaja I.D., Gurevich M.Y. Modelling and simulation of a dendrochronological test site // Tree Rings and Humaniti Eds. by J. Dean et al. Radiocarbon 1996. P. 803–812.

## Regeneration Dynamics of Fir-Spruce Stands upon Selective Forest Management

V. V. Ivanov, A. N. Borisov

The regeneration dynamics of fir-spruce stands upon their selective cutting were studied. An imitation model describing the stem diameter increment taking into account site conditions, a distance to neighboring trees, and their diameters (at a height of 1.3 m) were studied. The model was verified based on the natural data obtained on sample plots in the fir-spruce stands. The model suggested allow describing the dynamics of the wood stock, density, increment, and tree diameter distribution, etc. in dark coniferous stands. On the basis of modeling various scenarios for selective cuttings, optimal species, felling scope and, periodicity of cuttings taking into account characteristics of stands are proposed.