

Моделирование динамики смешанных древесных сообществ в случае воздействия внешних факторов

Колобов Алексей Николаевич

Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН, Биробиджан

Цель работы

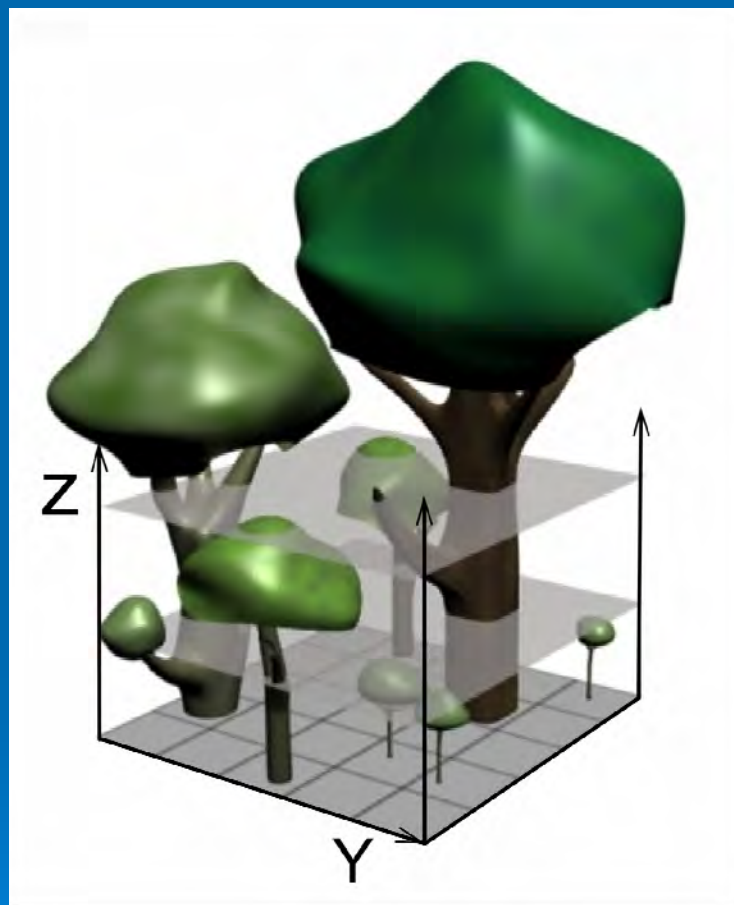
Модельное описание и исследование динамики многовидовых, разновозрастных древесных сообществ, развивающихся в условиях межвидовой и внутривидовой конкуренции за свет.

Задачи

- Построение эколого-физиологической модели роста дерева в условиях конкуренции за свет.
- Построение индивидуально-ориентированной модели пространственно-временной динамики древесных сообществ.
- Моделирование процессов сукцессии в смешанных древесных сообществах темнохвойных и светолюбивых видов.
- Построение сценариев пространственно-временной динамики древесных сообществ темнохвойных и светолюбивых видов под воздействием внешних факторов.

Индивидуально-ориентированная модель динамики древостоя

Пространственная структура моделируемого участка леса



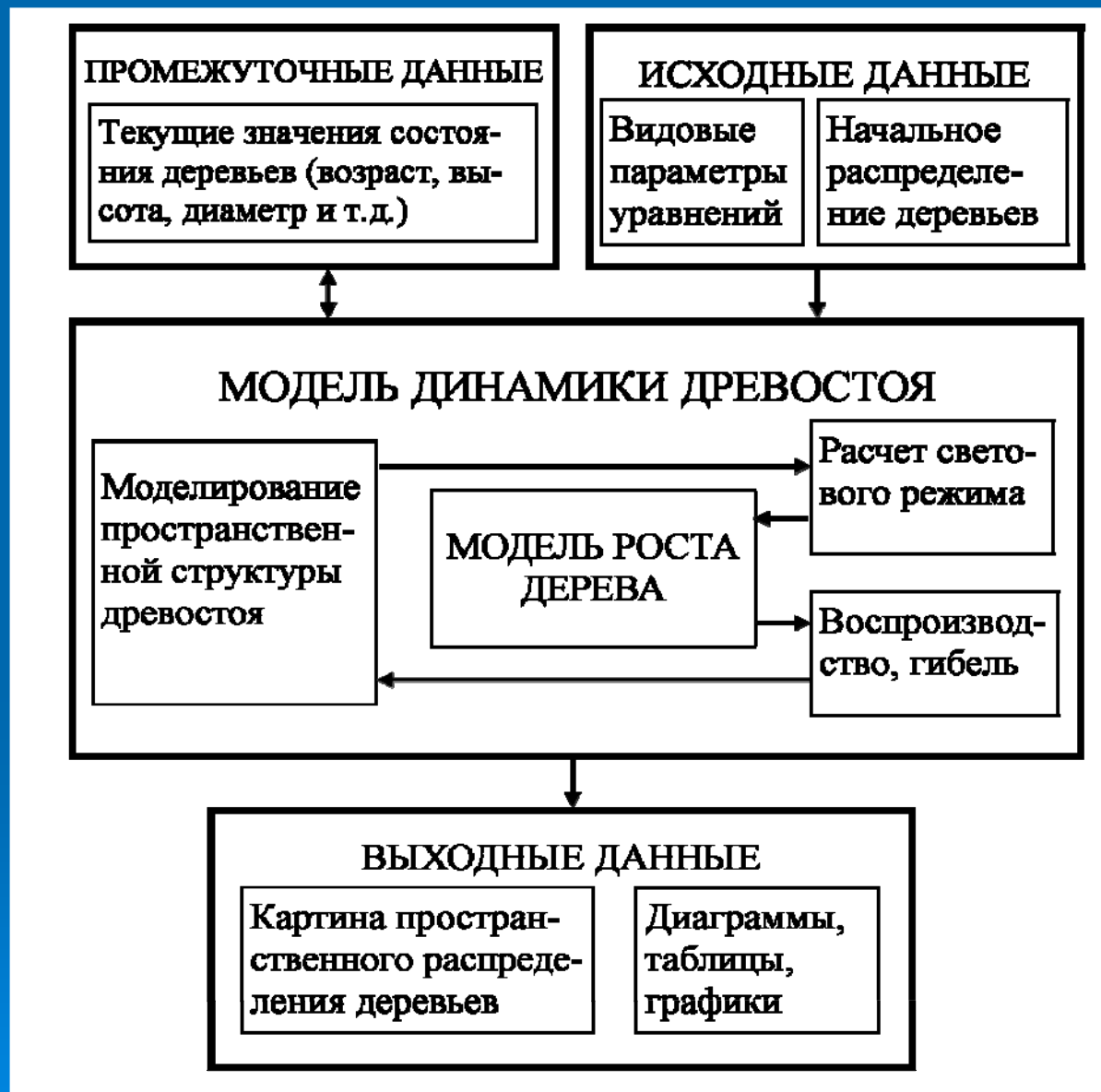
Моделируемое пространство делится
на ячейки по горизонтальной
плоскости и слои по вертикали

Организация хранения и поиска
информации содержимого ячеек
координатной сетки
моделируемого участка

	1	2	3	4	...	m
1	1	2	3	4	...	n-1
2	n	n+1	...			
...						
m						

№	V	H	D _г	D _к	SPECIES	AGE
→ 1						
2						
...						
→ n						
...						

Структурная схема модели динамики древостоя



Расчет светового режима

Рис. 1 Схема вычисления освещения дерева в сообществе

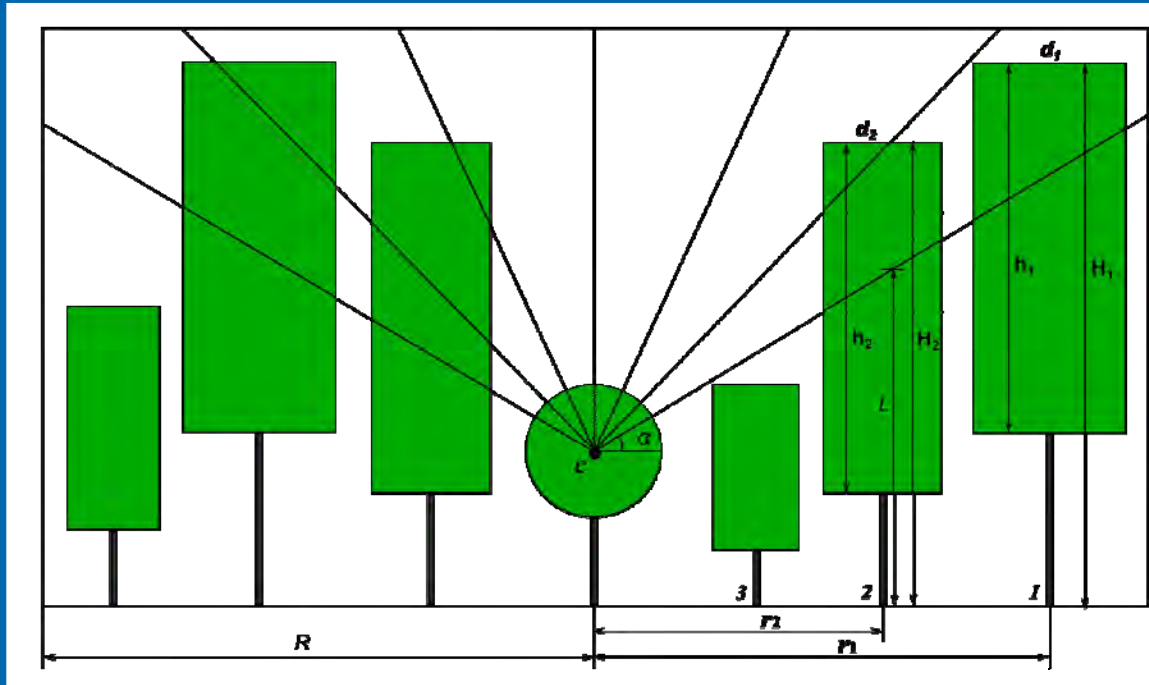
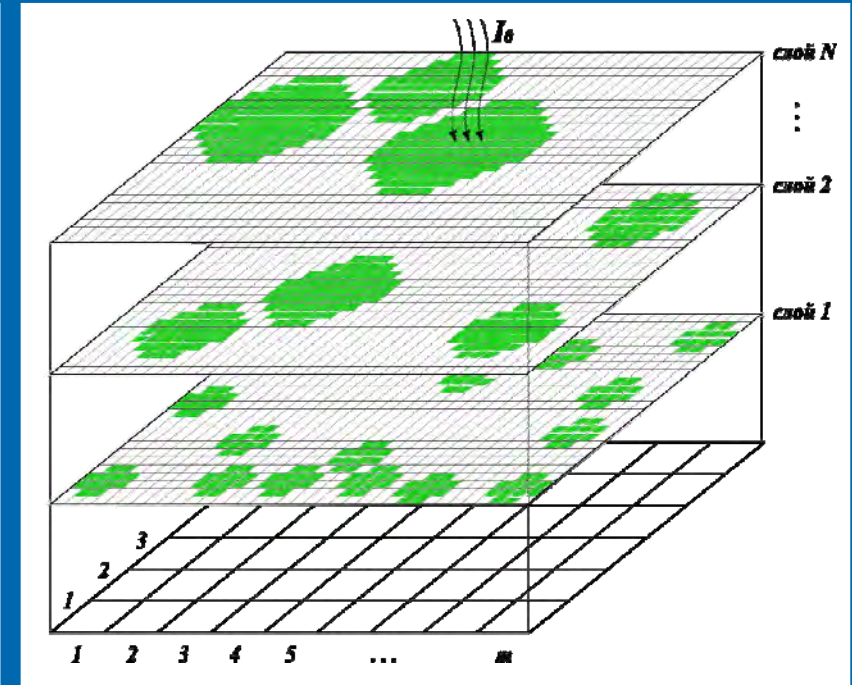


Рис. 2 Схема вычисления вертикального освещения дерева в сообществе



Условие пересечения кроны световым лучом

$$(H_j - h_j) \leq L_j \leq H_j, \quad L_j = \operatorname{tg} \alpha \cdot r_{i,j} + \left(H_i - \frac{h_i}{2} \right)$$

H - высота дерева, h - длина кроны,

L - высота луча, α - угол падения луча

$$Q_{i\alpha} = \sum_{s=1}^{n-1} \left[\sum_{\substack{j_1=1 \\ j_1 \neq i}}^n \sum_{\substack{j_2=2 \\ j_2 \neq i}}^n \dots \sum_{\substack{j_s=j_{s-1}+1 \\ j_s \neq i}}^n \exp\left(-\sum_{r=1}^s k_{j_r i} V_{j_r i}\right) q_{j_1 \dots j_s i} \right] + q_{0i} \quad (1)$$

$Q_{i\alpha}$ - доля солнечной радиации падающей на наружную поверхность кроны i -го дерева под разными углами α

q_{0i} - доля открытой части кроны i -го дерева

$q_{j_1 \dots j_s i}$ - доля затененной части кроны

k_j - коэффициент затухания j -го дерева

Модель роста дерева в сообществе

Уравнения роста i – го дерева

$$\begin{cases} \frac{dV_i}{dt} = \frac{1}{n} \sum_{l=1}^n \left(\frac{P_{im} \cdot b_i \cdot V_i^{2/3}}{p_i} \cdot \ln \left(\frac{P_{im} + a_i \cdot Q_{il}}{P_{im} + a_i \cdot Q_{ij} \cdot \exp(-p_i V_i^{d_i})} \right) \right) - c_i V_i H_i \\ \frac{dH_i}{dt} = (k_i + m_i \cdot H_i) \cdot \left(R(Q_i) - \frac{H_i}{H_{imax}} \right) \end{cases} \quad (1) \quad D_i = \sqrt{\frac{4V_i}{\pi H_i f(V_i)}} \quad (2)$$

V - объем дерева, H - высота, D – диаметр, P_m - максимальная интенсивность фотосинтеза единицы площади листьев дерева, p - коэффициент самозатенения дерева, a - крутизна световой кривой, показывает зависимость фотосинтеза от интенсивности освещения, d – фрактальная размерность кроны, c – коэффициент пропорциональности расходов энергии на транспорт ассимилятов, b – параметр характеризующий приток энергии, H_{max} – максимальная высота дерева, k, m – видоспецифичные параметры роста высоты, Q - доля солнечной радиации при затенении окружающим древостоем ($0 \leq Q \leq 1$), $R(Q)$ – коэффициент конкуренции, зависящий от интенсивности света, $f(V)$ – функция характеризующая, отклонение от идеального цилиндра (видовое число), n – количество лучей используемых для сканирования пространства вокруг рассматриваемого дерева.

Моделирование процессов отпада и возобновления

Условия отпада дерева

- 1) если возраст дерева достиг средней продолжительности жизни, вычисляется вероятность отмирания растения, возрастающая в процессе его старения
- 2) $\frac{dV_i}{dt} < 0$ если расход энергии, необходимой для поддержания жизнедеятельности дерева превышает его доход
- 3) $\frac{V_i(t)}{V_{si}(t)} < n_i(t)$ если степень отставания роста дерева в условиях затенения от его потенциальных размеров превышает некоторый порог

$V(t)$ – объем ствола дерева находящегося в условиях затенения

$V_s(t)$ – объем свободно растущего дерева при полном освещении

$n(t)$ – пороговая величина отставания в росте, t – возраст дерева

Доля семян j - го вида от общего количества семян в каждой свободной ячейке моделируемого участка

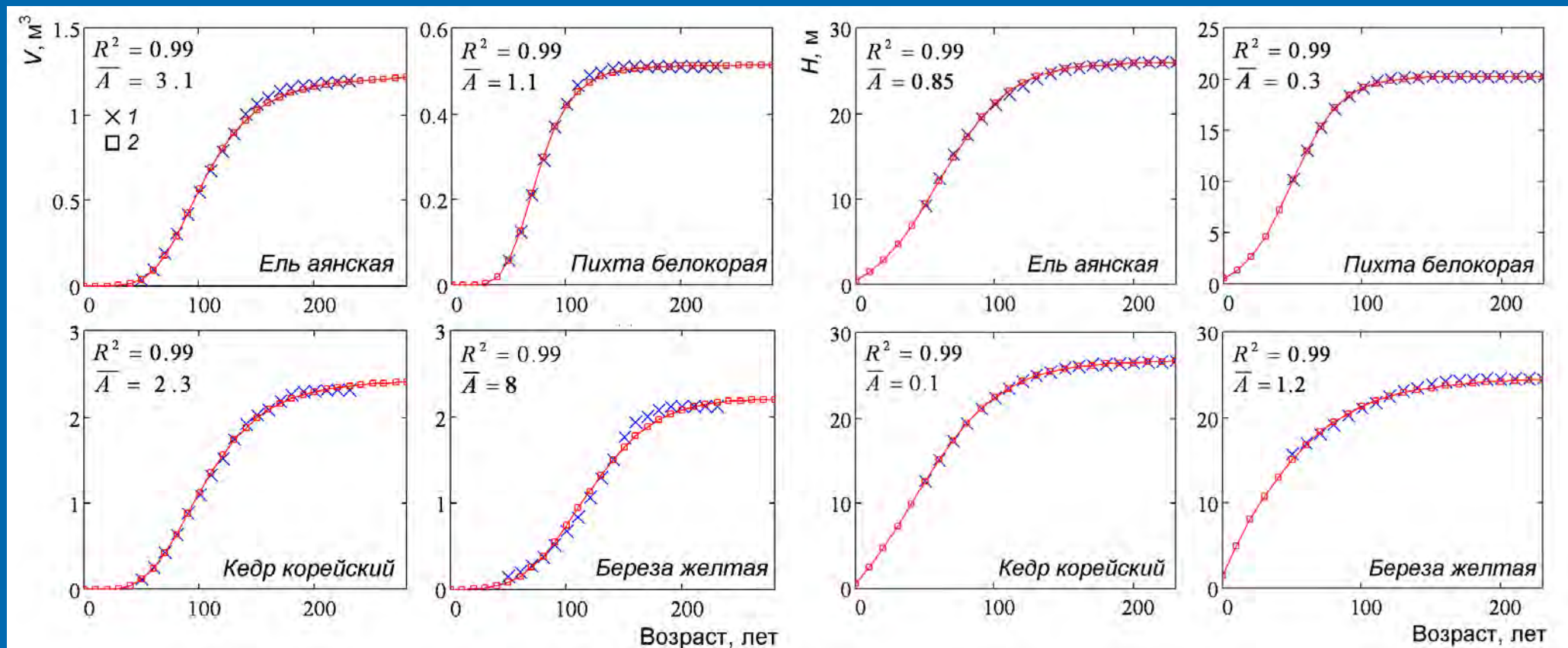
$$N_j = \sum_{i=1}^{n_j} \frac{1}{r_{i,j}} \bigg/ \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n_j} \frac{1}{r_{i,j}}, \quad r_{i,j} \leq R \quad (1)$$

R – максимальный радиус рассеивания семян

$r_{i,j}$ – расстояние от ячейки до i - го дерева j - го вида способного к плодоношению

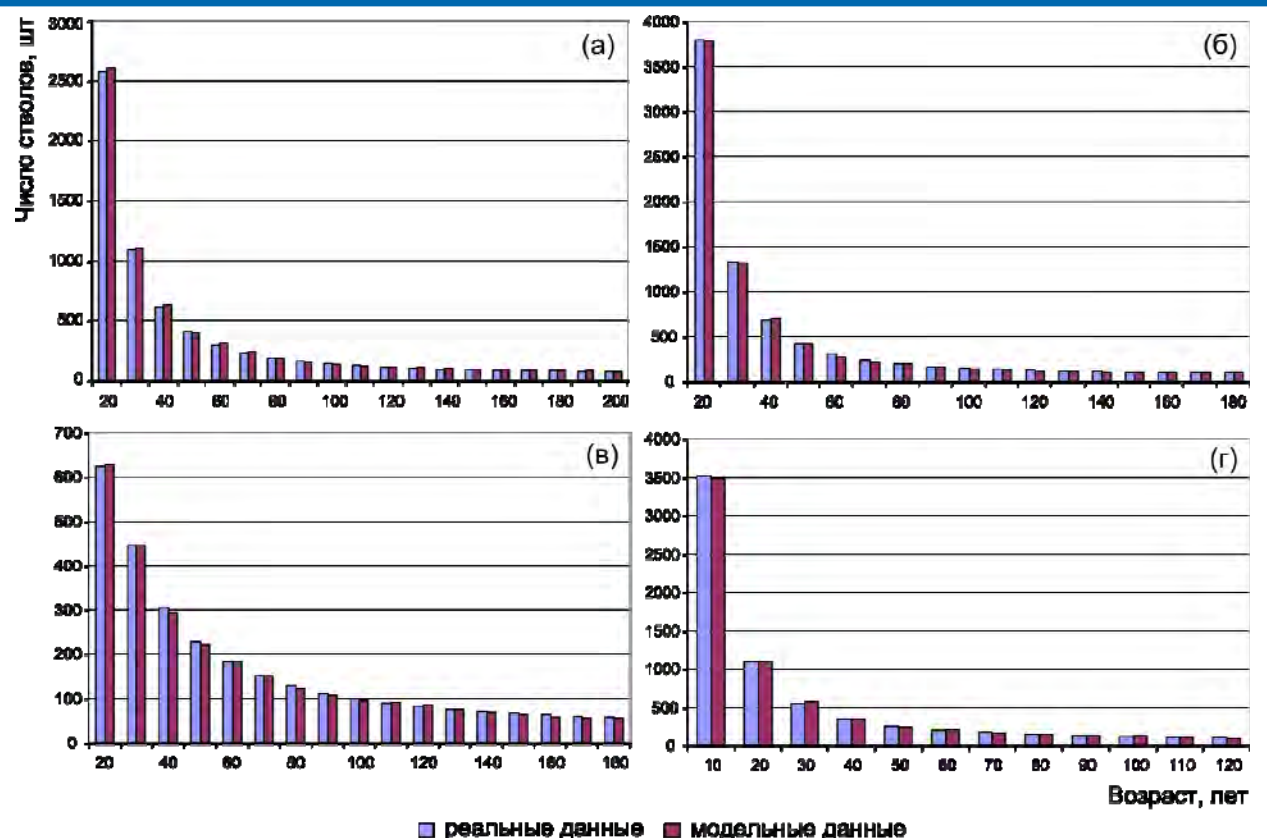
n_j – количество деревьев j - го вида, m – количество видов

Оценка параметров модели роста дерева по эмпирическим данным для некоторых видов деревьев



Графики роста объема и высоты для ели аянской, пихты белокорой, кедра корейского, березы желтой. Крестики – эмпирические данные, квадратики – модельные данные. Коэффициент детерминации составил 0,99, ошибка аппроксимации 0,8-8

Оценка параметра отмирания в модели по фактическим данным изреживания одновидовых, одновозрастных древостоев



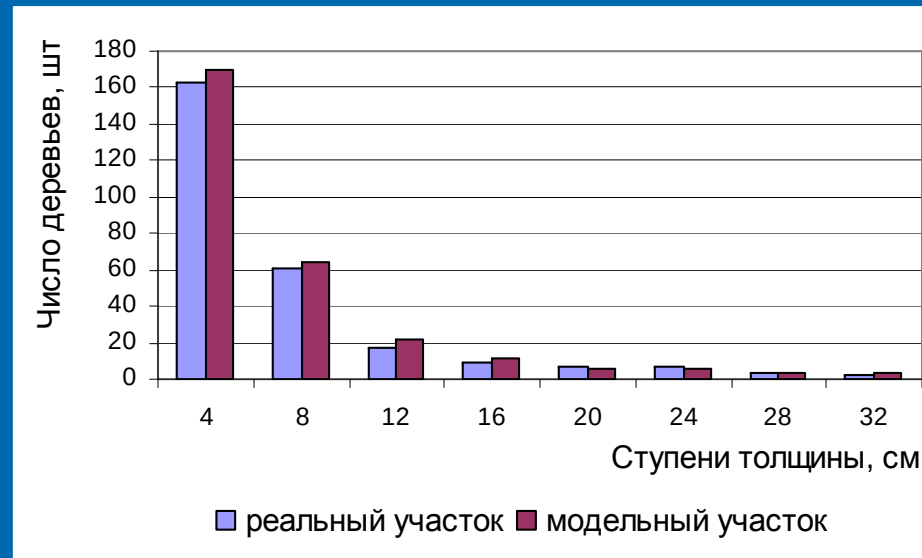
ель	$n_1(t) = \begin{cases} 1.19, t \leq 47 \\ 0.927 \cdot e^{(0.0052 \cdot t)}, 47 < t \leq 130 \\ 1.83, t > 130 \end{cases}$
пихта	$n_2(t) = \begin{cases} 1.29, t \leq 26 \\ 1.133 \cdot e^{(0.005 \cdot t)}, 26 < t \leq 70 \\ 1.61, t > 70 \end{cases}$
кедр	$n_3(t) = \begin{cases} 1.2, t \leq 46 \\ 0.91 \cdot e^{(0.006 \cdot t)}, 47 < t \leq 110 \\ 1.77, t > 110 \end{cases}$
береза	$n_4(t) = \begin{cases} 1.32, t \leq 46 \\ 1.1 \cdot e^{(0.0043 \cdot t)}, 46 < t \leq 110 \\ 1.77, t > 110 \end{cases}$

Динамика численности одновидовых, одновозрастных древостоев: а) ель, б) пихта, в) кедр, г) береза

$n(t)$ – пороговое значение отставания роста дерева в условиях затенения

В результате были подобраны такие значения параметра, $n(t) \geq V(t)/Vs(t)$ влияющего на интенсивность отмирания деревьев, при которых ряд полученных модельных значений, наилучшим образом аппроксимирует данные натурных наблюдений взятых из таблиц хода роста.

Верификация модели по фактическим данным пробной площади разновозрастного древостоя



$$\chi^2_{\text{эмп}} = 5.38 < \chi^2_{\text{кр}} = 14.057$$

для уровня статистической
значимости $P \leq 0.05$

принимается нулевая гипотеза
о том, что различия между двумя
распределениями не являются
статистически значимыми

Рис. 1 Распределение по ступеням толщины диаметров ствола
реального и модельного участков

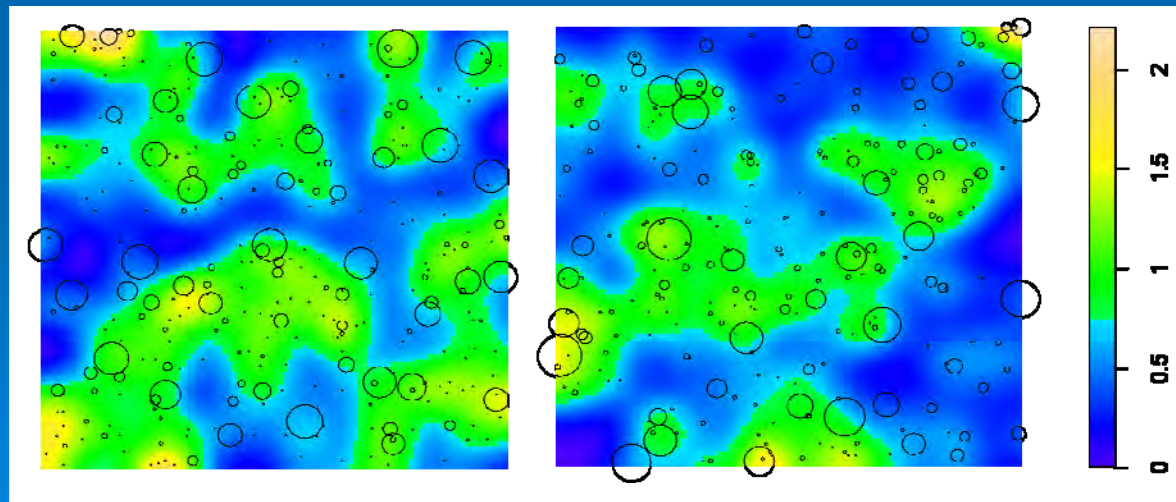
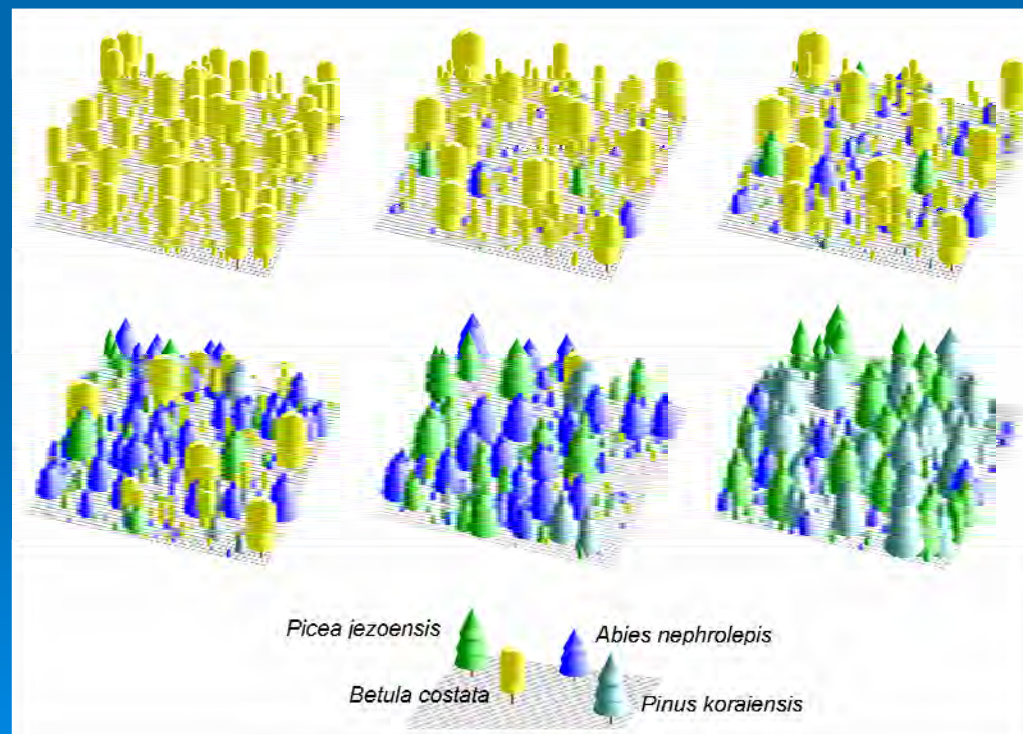
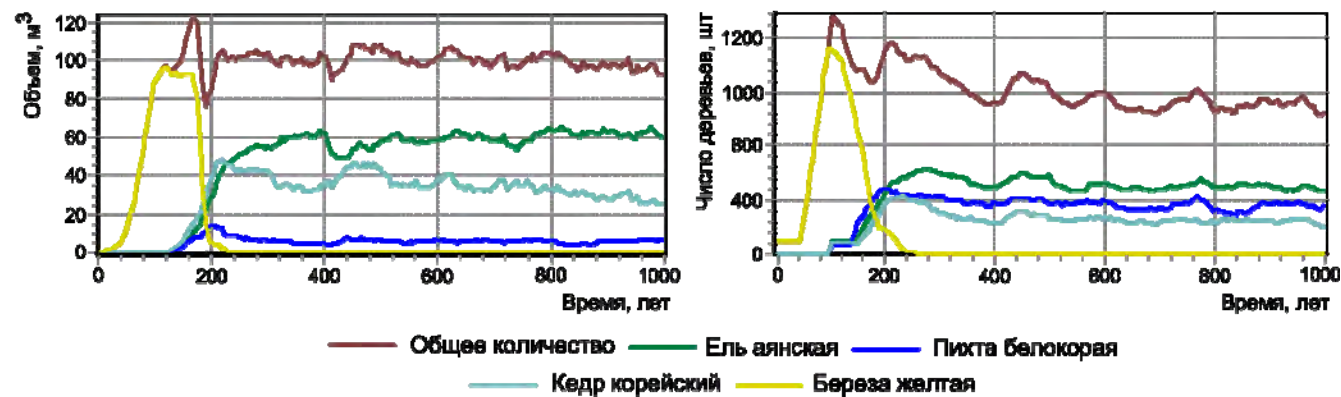
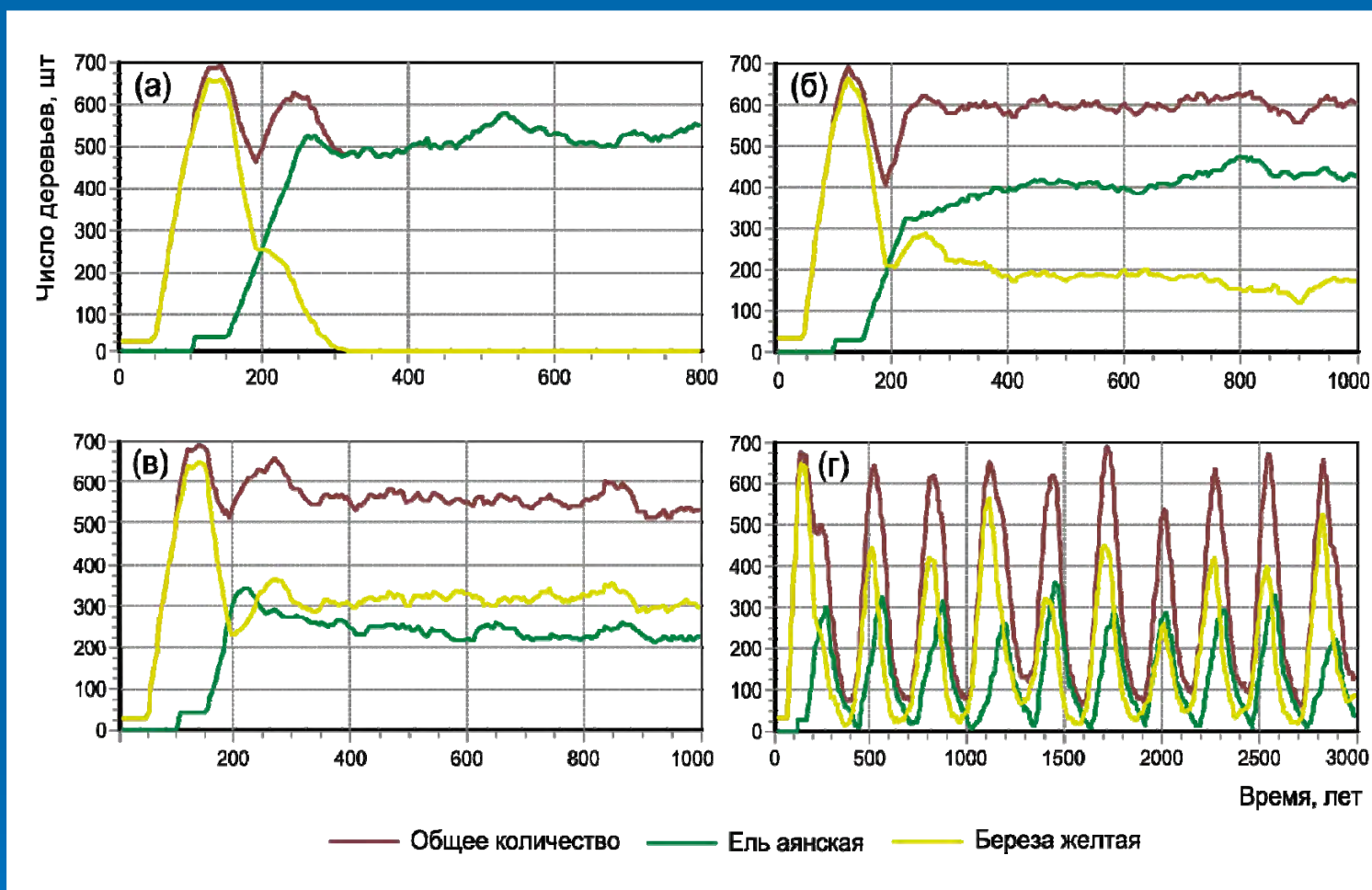


Рис. 2 Горизонтальная структура елово-пихтового древостоя
(слева - модельный участок, справа - пробная площадь 20×20 м (ЕАО))

Модельный сценарий динамики смешанного, разновозрастного древесного сообщества (ель, пихта, кедр, береза)



Модельные сценарии динамики сообщества теневыносливого и светолюбивого видов в случае изъятия доли деревьев теневыносливого вида



а) естественное развитие сообщества без влияния внешних факторов; б) развитие сообщества, при ежегодном изъятии 4% деревьев ели от общего объема древесины начиная с максимального диаметра; в) при изъятии 9% деревьев ели от общего объема древесины начиная с максимального диаметра; г) при изъятии 0.0001% подроста ели от общего объема древесины.

Моделирование выборочных рубок

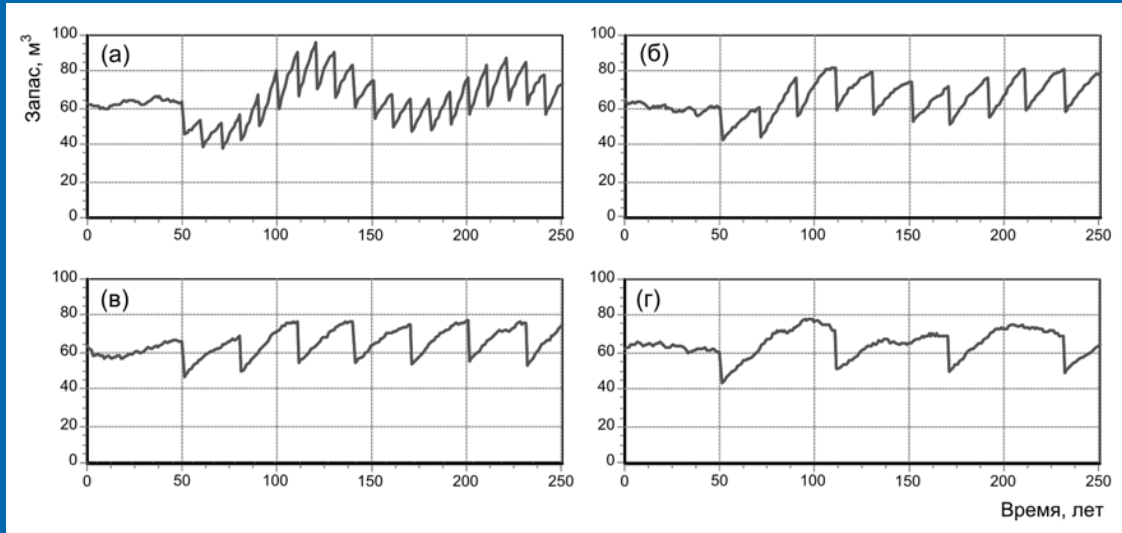


Рис. 1 Динамика запаса в елово-пихтовом древостое при разной периодичности рубок с интенсивностью 30%:
а) 10 лет; б) 30; в) 40; г) 60

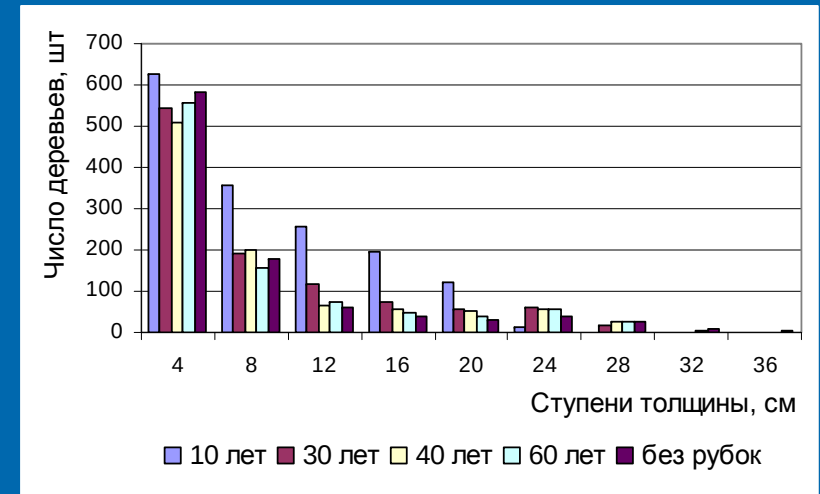


Рис. 2 Распределение по ступеням толщины диаметров при естественном развитии древостоя и после рубок

Характеристики различных режимов рубок

Режим рубок	Средний объем изъятия за одну рубку	Общий объем изъятия за 200 лет, м³	Максимальный диаметр изъятых деревьев, см	Минимальный диаметр изъятых деревьев, см
10 лет, 30%	22.8	456.8	24	16
30 лет, 30%	22	131.8	28	20
40 лет, 30%	21.7	108.7	29	22
60 лет, 30%	19.7	59.2	32	22

Выводы

- Анализ сценариев динамики смешанного древесного сообщества подтвердил базовое положение о том, что в долгосрочной перспективе при отсутствии внешних воздействий теневыносливые виды полностью вытесняют светолюбивые. Вместе с тем изъятие части взрослых деревьев темнохвойных пород приводит к возможности сосуществования видов неограниченно долго.
- В случае изъятия доли теневыносливого подроста в системе наблюдаются длиннопериодические колебания, в которых численное преобладание светолюбивых видов, сменяется преобладанием теневыносливых и наоборот. Такие условия могут возникать, например, при инвазиях насекомых-вредителей или при поедании молодых побегов копытными животными.
- Показана принципиальная возможность применения модели для анализа различных стратегий лесопользования с целью нахождения оптимального объема и периодичности рубок, в зависимости от поставленной цели хозяйствования.