

Моделирование динамики одновозрастных одновидовых древостоев в зависимости от начальной пространственной структуры и неоднородности состава популяции

Колобов Алексей Николаевич, Фрисман Ефим Яковлевич

Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН

Цель исследования

Изреживание древостоя это уменьшение количества деревьев в результате естественного отмирания части из них с увеличением возраста. Процесс изреживания одновозрастных древостоев определяется действием множества различных факторов, которые сложным и во многом стохастическим образом влияют на рост, взаимодействие и гибель деревьев.

В работе Г.П. Карева (2003) было показано, что для построения адекватных моделей самоизреживания древостоев необходимо учитывать неоднородность состава популяции. Она проявляется в том, что деревья не являются одинаковыми, имея различную вероятность гибели в зависимости от индивидуальных свойств особи.

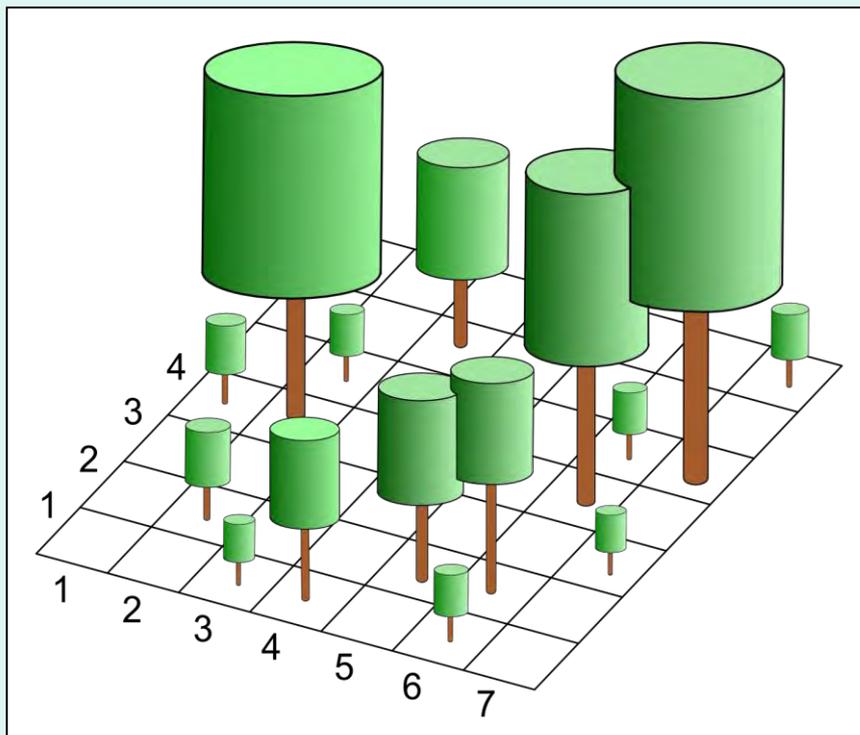
В то же время существенное влияние на процесс изреживания одновозрастных древостоев оказывает начальное пространственное расположение деревьев, которое в реальных сообществах может быть различным и зависит от действия многих факторов.

В работе приведены результаты моделирования динамики одновозрастных еловых и лиственничных насаждений в зависимости от начального пространственного расположения деревьев и неоднородности состава популяции.

В качестве инструмента исследования использовали разработанную ранее индивидуально-ориентированную модель динамики древесных сообществ.

Индивидуально-ориентированная модель динамики древостоя

Размещение деревьев на
имитационной решетке



Структурная схема модели
динамики древостоя



Модель роста дерева в древостое

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dV_i}{dt} &= \sum_{j=1}^L \sum_{k=1}^{N_{ij}} \left(\frac{P_{im} \cdot b_i \cdot V_i^{2/3} \cdot \frac{1}{N_{ij}}}{p_i} \cdot \ln \left(\frac{P_{im} + a_i \cdot Q_{ijk}}{P_{im} + a_i \cdot Q_{ijk} \cdot \exp(-p_i V_i^{d_i})} \right) \cdot PT_j - c_i V_i H_i \right) \quad (1) \\ D_i &= \sqrt{\frac{4V_i}{\pi H_i f(V_i)}} \quad (2) \\ H(t) &= c_1 (1 - \exp(-c_2(t - t_0)))^{c_3} \end{aligned} \right.$$

V - объем дерева, H - высота, D - диаметр, a - крутизна световой кривой, показывает зависимость фотосинтеза от интенсивности освещения, P_m - максимальная интенсивность фотосинтеза единицы площади листьев дерева, p - коэффициент самозатенения дерева, b - коэффициент преобразования энергии в прирост объема ствола, c - коэффициент пропорциональности расходов энергии на транспорт ассимилятов, d - фрактальная размерность кроны, Q_{ijk} - доля солнечной радиации, падающей на k -ю ячейку наружной поверхности кроны i -го дерева в j -м направлении ($0 \leq Q \leq 1$), N_{ij} - число ячеек наружной поверхности кроны i -го дерева на которые падает свет в j -ом направлении, L - число направлений светового потока, падающего на наружную поверхность кроны, c_1, c_2, c_3 - видоспецифичные параметры роста дерева в высоту, $f(V)$ - функция характеризующая, отклонение от идеального цилиндра (видовое число).

Рост дерева в модели определяется интенсивностью фотосинтеза, которая зависит от количества световых ресурсов. Модель описывает рост объема, высоты и диаметра дерева в зависимости от степени затенения соседними деревьями. Здесь параметр Q - доля солнечной радиации, падающей на наружную поверхность кроны дерева.

Условия отмирания дерева принятые в модели

В модели принято, что дерево отмирает при выполнении следующих условий:

- 1) если возраст дерева достиг средней продолжительность жизни, вычисляется вероятность отмирания дерева
- 2) $\frac{dV_i}{dt} < 0$ если расход энергии, необходимой для поддержания жизнедеятельности дерева, превышает его доход
- 3) $\frac{P(V(t), Q)}{P_0(V_m(t), Q_0)} < n(V_m(t))$ если, в результате затенения, интенсивность фотосинтеза становится меньше некоторой пороговой величины

$P(V(t), Q), P_0(V_m(t), Q_0)$ – интенсивность фотосинтеза кроны дерева, растущего в условиях затенения ($Q < 1$) и при полном освещении ($Q_0 = 1$)

$V(t), V_m(t)$ – объем ствола дерева, растущего в условиях затенения и при полном освещении

$$n(V_m(t)) = \frac{n_m}{1 + (n_m/n_0 - 1) \cdot \exp(-\beta \cdot V_m(t))}$$

– пороговая величина отклонения интенсивности фотосинтеза от максимально возможного в данном возрасте значения

Задача моделирования

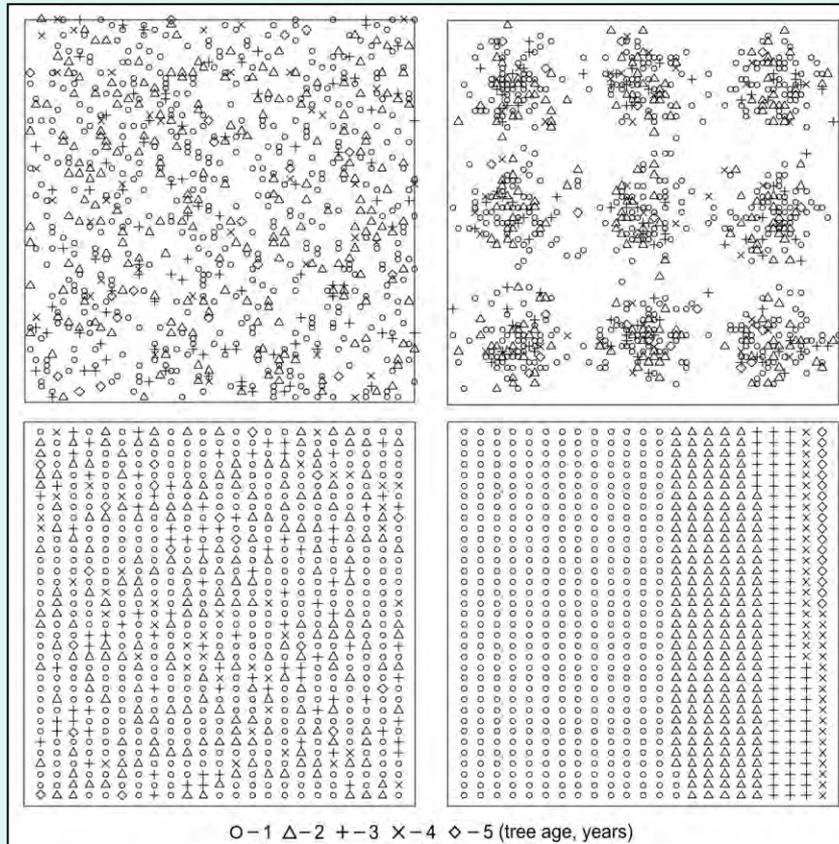
Необходимо провести анализ и подобрать такую начальную пространственную структуру неоднородность состава насаждения, при которых достигается удовлетворительное соответствие между модельными и реальными данными изреживания древостоя.

Возрастная структура древостоя, в начальный момент моделирования, представляет собой совокупность нескольких групп деревьев разного возраста.

Таким образом, деление древостоя на возрастные группы, обеспечивает неоднородность его состава, с различной вероятностью гибели деревьев разного возраста в результате конкуренции за свет.

Древостой считается одновозрастным, если разница в возрасте деревьев не превышает длительность одного класса возраста. Для хвойных пород класс возраста составляет 20 лет.

Начальная пространственная и возрастная структура древостоя



В качестве начальной пространственной структуры древостоя рассматривали три типа расположения деревьев: А) случайное, Б) кластерное, В, Г) регулярное, когда деревья, с точки зрения возраста, расположены случайно и упорядоченно. Значками обозначены деревья разного возраста

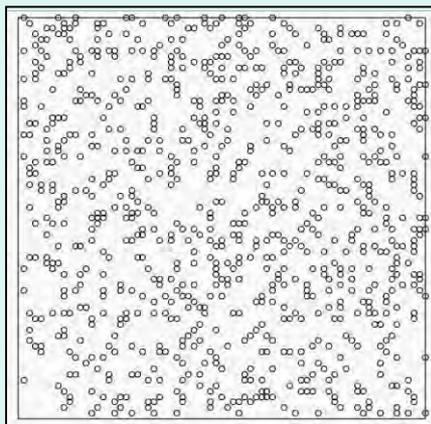
Начальная численность деревьев $N_i(0)$ в i -ой возрастной группе

$$N_i(0) = N(0) \cdot \frac{1-k}{k-k^{n+1}} \cdot k^i$$

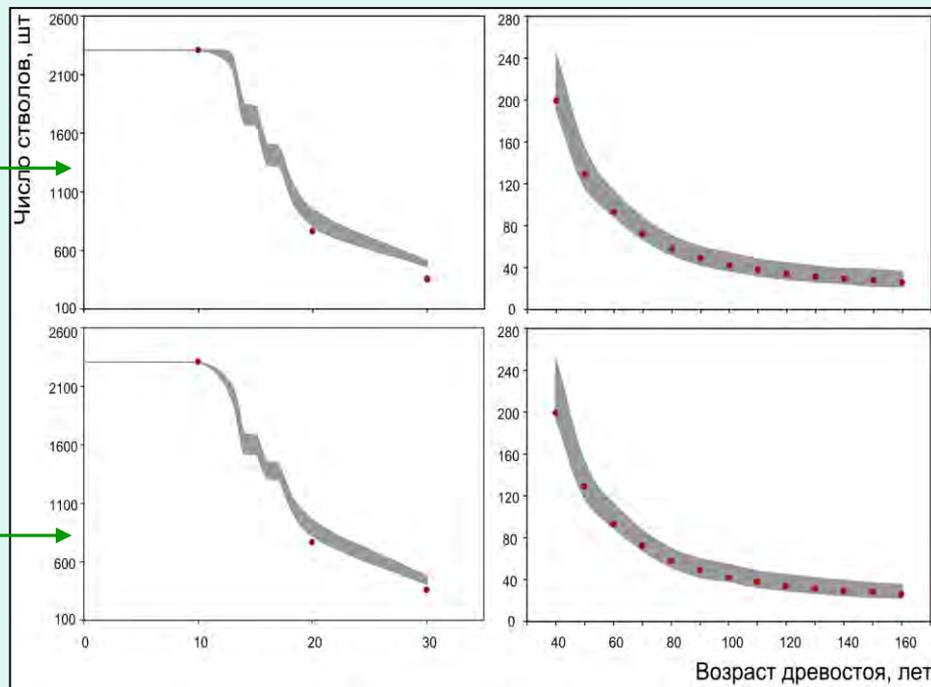
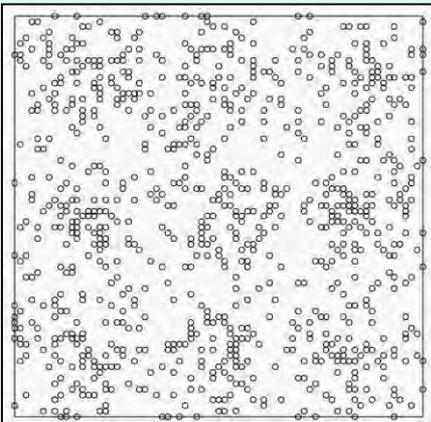
$N(0)$ – общая начальная численность деревьев,
 $i=1..n$ – возраст деревьев в i -ой группе в начальный момент моделирования, n – число групп, k - параметр характеризующий распределение численности деревьев по возрастным группам

Динамика численности одновозрастного елового древостоя без возрастной структуры

Случайное начальное расположение деревьев



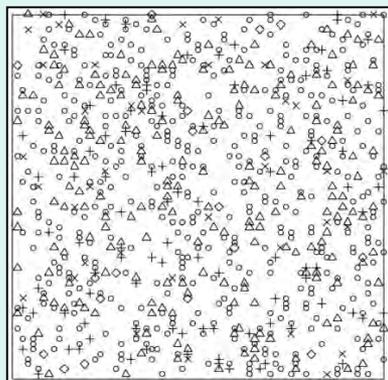
Кластерное с дисперсией в кластере $\sigma^2=47$



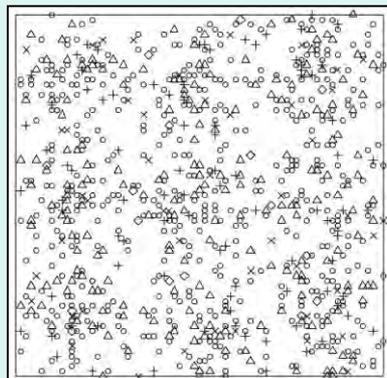
Динамика численности одновозрастного елового древостоя. Круги - реальные данные; серая область - интервал вариации модельных значений шириной $\pm 3\delta$.

Координаты деревьев, в начальный момент времени являются случайными величинами. Поэтому численность древостоя, на каждом шаге моделирования, также является случайной величиной, которая имеет определенный интервал значений. Для определения этого интервала было сгенерировано 100 реализаций модели. В итоге, реальные данные не попадают в полученные интервалы вариации модельных значений на отрезке 20-30 лет.

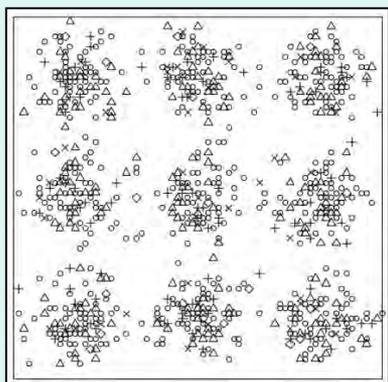
Динамика численности одновозрастного елового древостоя с возрастной структурой



А) Случайное начальное расположение деревьев

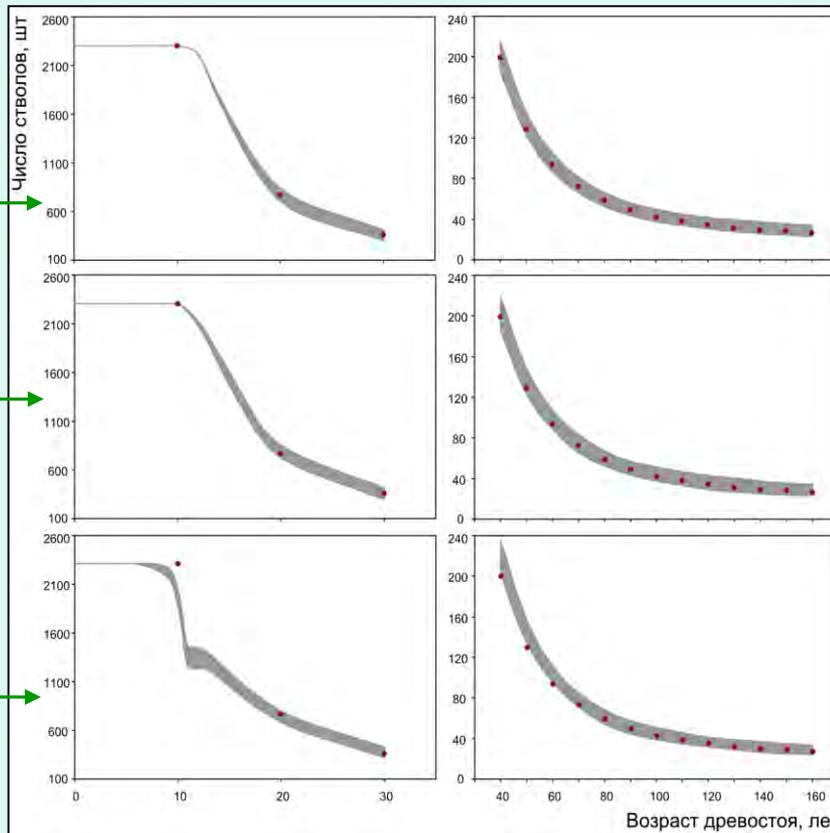


Б) Кластерное с дисперсией в кластере $\sigma^2=47$



В) Кластерное с дисперсией в кластере $\sigma^2=20$

Значки – деревья разного возраста



Динамика численности одновозрастного елового древостоя. Кружки - реальные данные; серая область - интервал вариации модельных значений шириной $\pm 3\delta$.

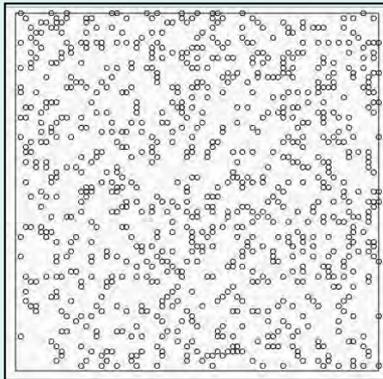
Возрастная структура древостоя Начальная численность деревьев $N_i(0)$ в каждой возрастной группе

$$N_i(0) = N(0) \cdot \frac{1-k}{k-k^{n+1}} \cdot k^i$$

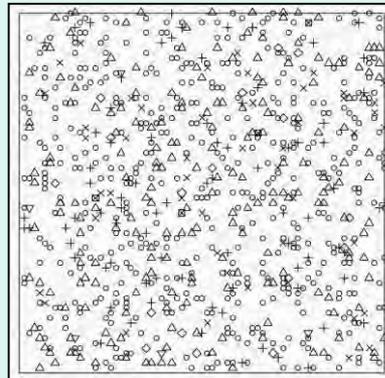
Возраст дерева	1	2	3	4	5
Число деревьев	1314	580	254	113	49

$N(0)=2310$ (шт.), $n=5$, $k=0.44$

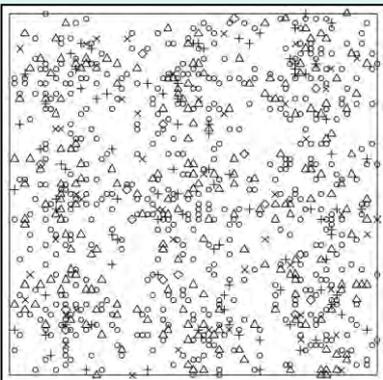
Динамика численности одновозрастного лиственничного древостоя



А) Случайное расположение деревьев без возрастной структуры

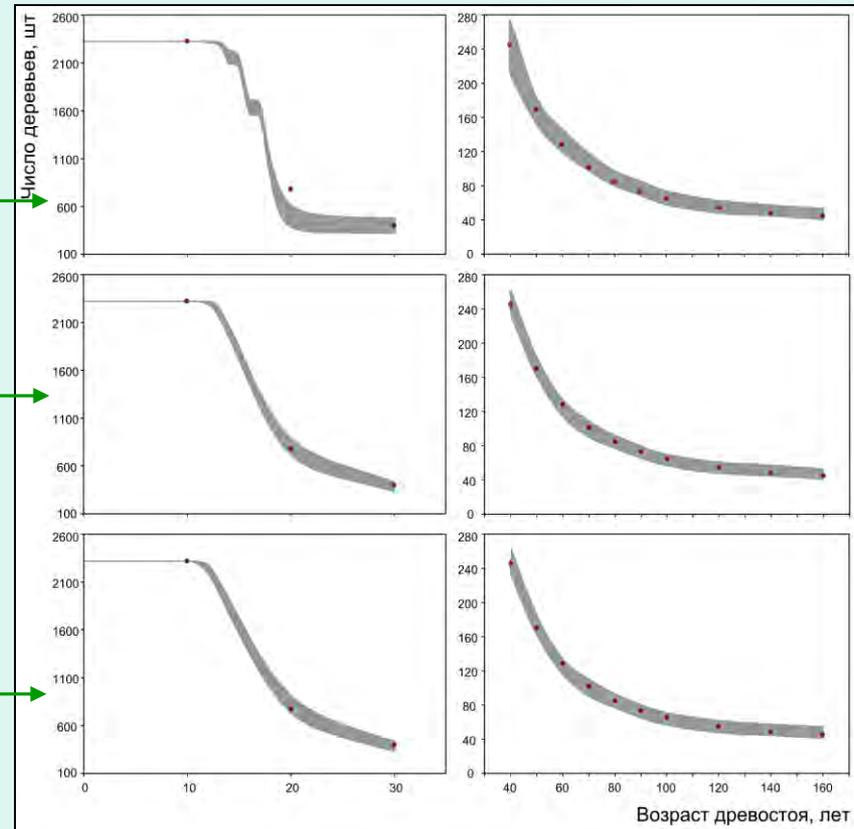


Б) Случайное расположение деревьев с возрастной структурой



В) Кластерное с дисперсией в кластере $\sigma^2=47$

Значки – деревья разного возраста



Динамика численности одновозрастного елового древостоя. Кружки - реальные данные; серая область - интервал вариации модельных значений шириной $\pm 3\delta$.

Возрастная структура древостоя Начальная численность деревьев $N_i(0)$ в каждой возрастной группе

$$N_i(0) = N(0) \cdot \frac{1-k}{k-k^{n+1}} \cdot k^i$$

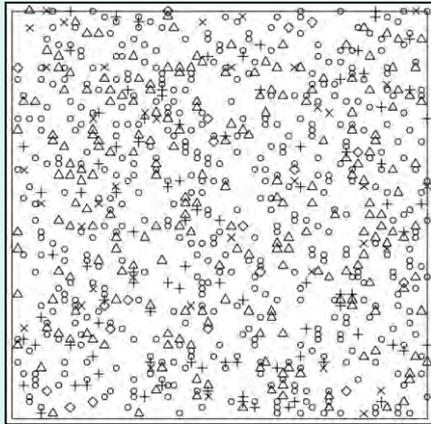
Возраст дерева	1	2	3	4	5	6	7
Число деревьев	1327	570	245	106	45	19	8

$N(0)=2320$ (шт.), $n=7$, $k=0.43$

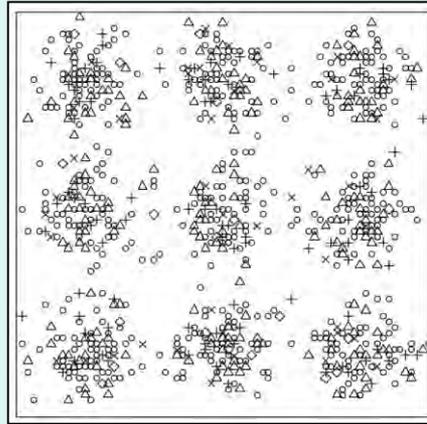
В модифицированной модели Хильми, для сосновых насаждений $n=7-10$ (Karev G.P., 2003)

Модельные реализации динамики численности одновозрастных еловых насаждений

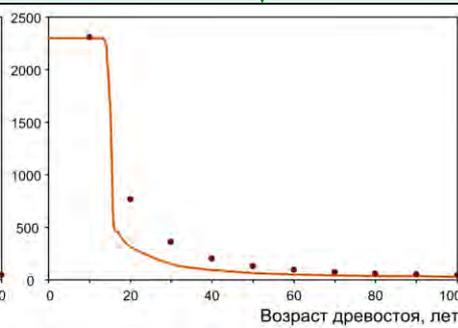
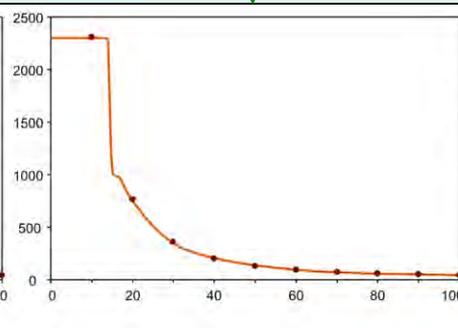
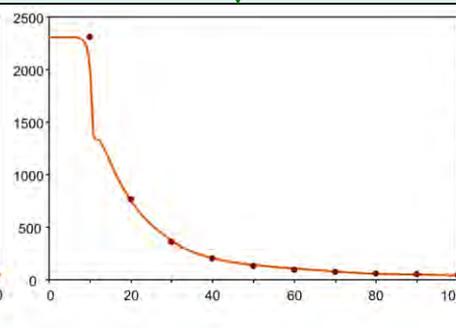
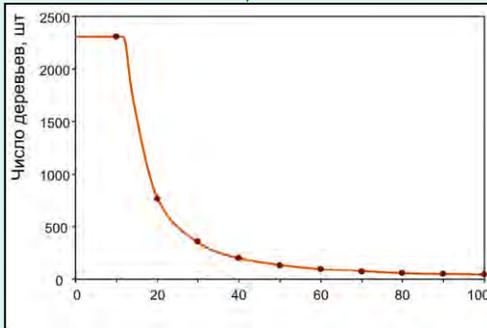
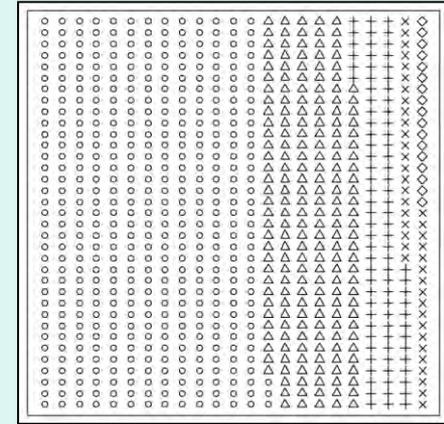
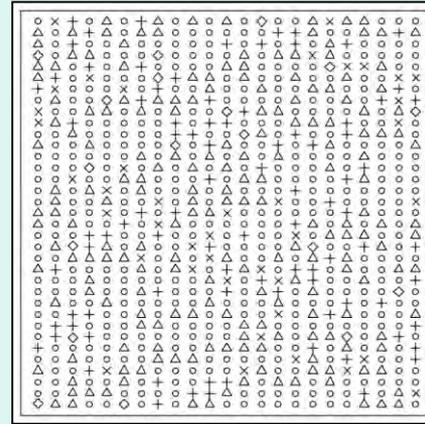
Случайное
расположение деревьев



Кластерное
(дисперсия $\sigma^2=20$)



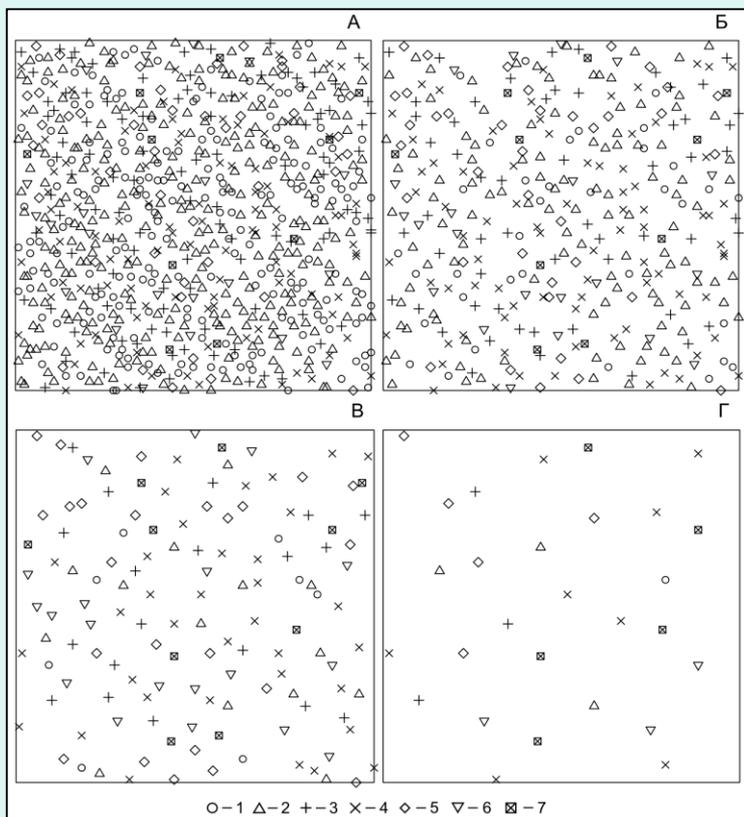
Регулярное, когда деревья, с точки зрения возраста,
расположены случайно (слева) и упорядоченно (справа)



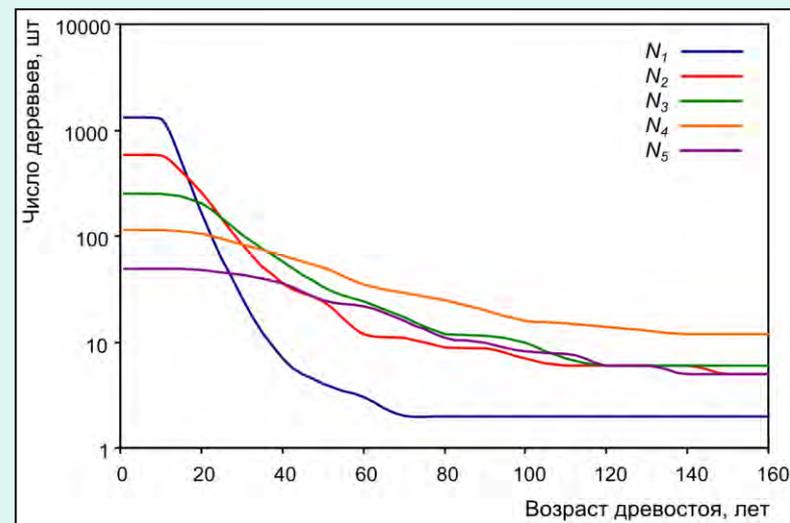
Модельные реализации динамики численности одновозрастного елового древостоя. Точки – реальные данные.

Модельная кривая численности при случайном начальном расположении деревьев обладает качественными особенностями развития естественных одновозрастных насаждений: 1) свободный рост деревьев (до 10 лет), 2) после смыкания крон начинается интенсивный процесс отпада в результате конкуренции за ресурсы (10 - 40 лет), 3) по мере размыкания крон, скорость изреживания падает (40-80), 4) конкурентный отпад практически прекращается, происходит увеличение гибели в результате старения (от 80 лет).

Пространственная и возрастная структура древостоя на разных этапах изреживания



Пространственная и возрастная структура елового древостоя на разных стадиях изреживания: А) 20, В) 30, С) 50, D) 160



Динамика численности деревьев разных возрастных групп в процессе изреживания елового древостоя

В первые 40 лет, изреживание происходит за счет отмирания деревьев младших возрастных групп. На стадии смыкания крон выживают преимущественно самые крупные деревья. В зрелом одновозрастном древостое присутствуют деревья всех возрастных групп. В процессе изреживания пространственное расположение деревьев становится более регулярным.

Выводы

- На основе разработанной имитационной модели произведена оценка начальной пространственной структуры и неоднородности состава еловых и лиственничных насаждений по реальным данным изреживания древостоев.
- В результате удовлетворительные соответствия между модельными и реальными данными были получены при случайном и кластерном начальном расположении деревьев. При этом для описания начальной неоднородности состава елового насаждения оказалось достаточным использование 5 групп деревьев разного возраста, для лиственничного насаждения 7 групп деревьев.
- В случае однородного насаждения, без возрастной структуры, не удалось получить удовлетворительные соответствия между модельными и реальными данными.
- Полученные оценки можно использовать при разработке оптимальных режимов лесопосадки определенных видов деревьев, которые обеспечивают максимальный прирост древесины. То есть, подбирая оптимальное пространственное расположение деревьев учитывать тот факт, что саженцы не являются одинаковыми, а имеют определенное распределение по степени конкурентоспособности.



Спасибо за внимание!!!