

ДИНАМИКА БИОМАССЫ ДРЕВОСТОЕВ С РЕГУЛЯРНОЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРОЙ В ИМИТАЦИОННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ МОДЕЛЕЙ EFIMOD

Припутина И.В., Фролова Г.Г., Шанин В.Н., Быховец С.С., Грабарник П.Я.

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения Российской академии наук, Пущино, Россия

irina.priputina@gmail.com

Аннотация: Проанализированы результаты имитационных экспериментов, в которых моделировался рост посадок березы с начальной густотой древостоя $2500 \text{ экз.} \cdot \text{га}^{-1}$ и регулярным размещением деревьев, соответствующим схемам посадки саженцев 2×2 и 1×4 м. Рассмотрено влияние на динамику показателей биомассы древостоя реализованных в EFIMOD-fbr процедур описания роста отдельного дерева, конкуренции за ресурсы между соседними деревьями, их отмирания при недостатке ресурсов и случайной гибели от внешних факторов.

Моделирование динамики роста древостоев с целью прогноза их продуктивности в зависимости от условий произрастания и лесохозяйственных мероприятий входит в число важных научно-теоретических и практических задач лесной экологии. В литературе представлен модели, использующие разные подходы к математическому описанию процессов, определяющих рост отдельного дерева и динамику древостоев (Березовская, Карев, 2015; Kolobov, Frisman, 2016; и др.). Модель EFIMOD-fbr (Шанин и др., 2017), разработанная на базе системы моделей EFIMOD (Komarov et al., 2003), имитирует процессы биогенного масс-баланса углерода и азота в системе «дерево – древостой – почва» с использованием лесотаксационных характеристик и видоспецифичных показателей лесообразующих пород Европейской России. Ранее нами были выполнены компьютерные эксперименты по оценке продуктивности посадок лесных культур в нескольких регионах РФ, в которых показана чувствительность EFIMOD-fbr к начальным почвенным условиям и пространственному размещению деревьев (Комаров и др., 2015; Припутина и др., 2016). В настоящей работе более детально рассмотрены данные одного из экспериментов с целью проверки правильности предсказаний модели для решения задач моделирования динамики древостоев с регулярной пространственной структурой.

1. Методические подходы и имитационный сценарий

Важным параметром модели роста дерева, использованным в EFIMOD-fbr (аналогично EFIMOD), является *максимальная биологическая продуктивность листвы*, α_{max} , которая отражает величину ежегодного прироста суммарной биомассы на 1 г листвы, что определяет потенциальную нетто-продуктивность фотосинтеза древесной породы для заданных климатических условий. Приросты биомассы распределяются в модели между пятью компонентами дерева, которые соответствуют стволу, ветвям, листве, структурным корням и тонким корням. *Редукция потенциальных приростов биомассы* происходит в соответствии с правилом минимума Либиха в зависимости от двух факторов: затенения и доступности азота почвы. Эти факторы определяют конкуренцию между соседними деревьями за ресурсы, интенсивность которой в EFIMOD-fbr зависит от расстояния между деревьями, возраста дерева и количества соседей. *Процедура самоизреживания древостоя* (отмирания деревьев при недостатке ресурсов) основана на идее порога смертности; соответствующие ему значения показателя dA видоспецифичны и характеризуют отношение годового прироста биомассы I_p к общей биомассе дерева B_T на текущий момент. Постулируется, что если в течение k лет подряд данное отношение ниже dA , то дерево погибает.

В рассматриваемом компьютерном эксперименте использованы *данные почвенно-климатических условий* подзоны хвойно-широколиственных лесов Республики Марий Эл. Их характеристика приведена в работе (Припутина и др., 2016).

Лесохозяйственный сценарий имитировал рост плантаций березы с коротким (30 лет) оборотом рубки, без промежуточных рубок ухода и внесения удобрений. Но в модели учтено фоновое поступление в экосистемы азота атмосферных выпадений $4.8 \text{ кг} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$ (Национальный Атлас, 2007). Начальная высота саженцев березы – $0.45 \pm 0.15 \text{ м}$, густота посадок – $2500 \text{ экз.} \cdot \text{га}^{-1}$. Рассмотрены два варианта пространственного размещения деревьев на модельной решетке: $2 \times 2 \text{ м}$ и $1 \times 4 \text{ м}$. Величина гибели деревьев от случайных факторов, не учитываемых в модели, принята постоянной (1.3% в год согласно (Liesebach et al., 1999)). Сплошная рубка главного пользования имитировалась после 30 лет роста плантации с изъятием с участка всей стволовой древесины и 50% фитомассы ветвей.

2. Обсуждение результатов

На рисунке приведены графики изменения густоты древостоя и динамики биомассы в ходе роста имитируемых посадок березы. Расчеты показывают примерно двукратное сокращение числа деревьев в варианте $2 \times 2 \text{ м}$ (более 60% по сравнению с 35% в варианте $1 \times 4 \text{ м}$), которое объясняется «гибелью» деревьев на временном отрезке 18-20 лет. Подобное массовое отмирание деревьев в молодых одновозрастных древостоях высокой густоты известно лесоводам и связано с конкуренцией за ресурсы после смыкания древесного полога (Собачкие и др., 2009). Возникает вопрос, почему при одинаковой густоте древостоя в модельных экспериментах эффект самоизреживания наблюдается только в варианте начального пространственного размещения деревьев по схеме $2 \times 2 \text{ м}$?

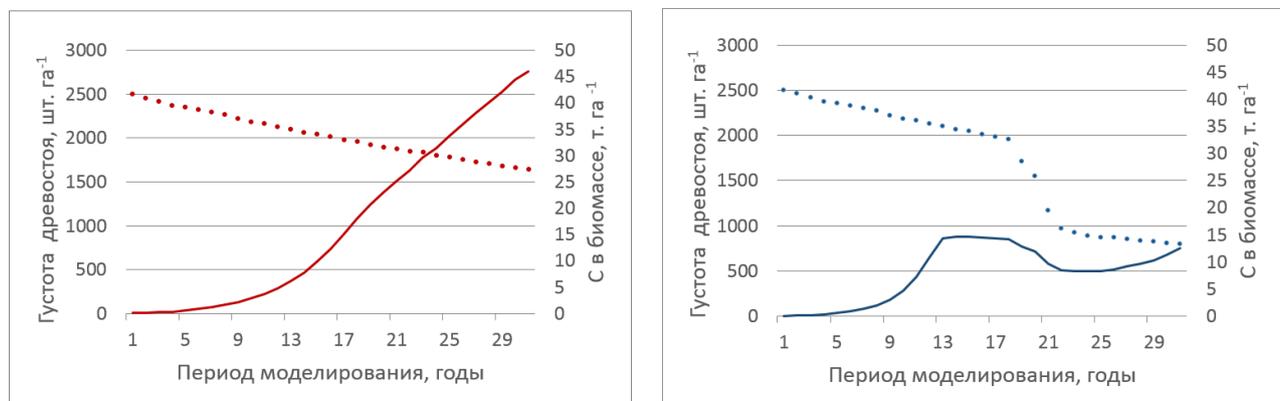


Рисунок – Результаты оценки динамики показателей численности древостоев (пунктиром) и биомассы (сплошные линии) для вариантов пространственного размещения деревьев $1 \times 4 \text{ м}$ (левый график) и $2 \times 2 \text{ м}$ (правый график)

Как видно из графиков, кривые динамики биомассы в обоих вариантах пространственного размещения деревьев имеют схожий характер на временном отрезке 1-9 лет. В 9-13 лет показатели биомассы заметно выше в варианте $2 \times 2 \text{ м}$, из чего можно сделать вывод, что в варианте посадки $1 \times 4 \text{ м}$ примерно в 9 лет происходит смыкание полога и/или корневых систем деревьев в рядах, обусловившее некоторую редукцию потенциальных приростов их биомассы за счет конкуренции по сравнению с вариантом посадки $2 \times 2 \text{ м}$. Смыкание полога в варианте $2 \times 2 \text{ м}$, судя по графику, происходит в возрасте посадки 13-14 лет. Исходя из схемы эксперимента и логики модели, это происходит одновременно в ряду и между рядами, что и определяет более интенсивную редукцию значений годичного прироста биомассы I_p . С учетом характерных для этого варианта более высоких значений показателя общей биомассы деревьев B_T , рассчитанное на этом временном интервале отношение I_p/B_T

для многих деревьев становится ниже принятой в модели величины порога смертности ($I_p/V_T < dA$). Как следствие, для варианта 2x2 м модель показывает интенсивное самоизреживание древостоя в возрасте посадки 17-18 лет.

Продуктивность реальных древостоев после самоизреживания возрастает относительно быстро. Но в модели, сильно редуцированный годовой прирост определяет низкую фитомассу листвы у деревьев, продолжающих рост. При сохранении прежних коэффициентов аллокации, это ведет к тому, что пониженные показатели массы листьев воспроизводятся довольно длительный отрезок времени, несмотря на достаточные ресурсы ФАР и почвенного питания. Т.е., суммарный прирост биомассы моделируемого древостоя после его интенсивного самоизреживания определяется низкими показателями ежегодной продукции листвы. Напротив, в варианте посадки 1x4 м поэтапное смыкание корневых систем и крон соседних деревьев (первоначально в рядах, затем в междурядьях) смягчает эффекты от конкуренции за ресурсы, способствуя сохранению показателей роста древостоя.

Выявленный эффект сильной зависимости показателей продукционного процесса (приростов биомассы древостоев) от пространственного размещения деревьев в модели EFIMOD-fbr требует уточнения алгоритма и показателей, используемых при описании роста деревьев после снижения конкуренции между ними за ресурсы, что особенно актуально для моделирования динамики древостоев с регулярной пространственной структурой.

Работа выполнена в рамках исследований по проекту № 17-45-500038 при финансовой поддержке РФФИ и Министерства инвестиций и инноваций Московской области.

Литература

- Березовская Ф.С., Карев Г.П. Моделирование динамики древостоев. Сибирский лесной журнал. 2015. №3. С.7-19. doi: 10.15372/SJF20150302.
- Комаров А.С., Чертов О.Г., Быховец С.С., Припутина И.В., Шанин В.Н., Видягина Е.О., Лебедев В.Г., Шестибратов К.А. Воздействие осиновых плантаций с коротким оборотом рубки на биологический круговорот углерода и азота в лесах бореальной зоны: модельный эксперимент. Математическая биология и биоинформатика. 2015. Т.10. № 2. С. 398–415. doi: 10.17537/2015.10.398.
- Национальный Атлас России. Т. 2. Природа и экология. М.: ГУГК. 2007.
- Припутина И.В., Фролова Г.Г., Шанин В.Н. Выбор оптимальных схем посадки лесных культур: компьютерный эксперимент с использованием системы моделей EFIMOD // Компьютерные исследования и моделирование. 2016. Т.8. №2. С.333–343.
- Припутина И.В., Фролова Г.Г., Быховец С.С., Шанин В.Н., Лебедев В.Г., Шестибратов К.А. Моделирование продуктивности лесных плантаций при разных схемах пространственного размещения деревьев. Математическая биология и биоинформатика. 2016. Т.11. № 2. С. 245–262. doi: 10.17537/2016.11.245.
- Собачкин Д.С., Бенькова В.Е., Собачкин Р.С., Бузыкин А.И. Влияние густоты на таксационные показатели сосновых молодняков естественного и искусственного происхождения. Лесоведение. 2009. №2. С.73–79.
- Шанин В.Н., Быховец С.С., Фролов П.В., Припутина И.В., Фролова Г.Г., Видягина Е.О., Лебедев В.Г., Шестибратов К.А. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017612595 EFIMOD-fbr - имитационная модель прогнозирования экологических эффектов лесных плантаций на основе деревьев с заданными характеристиками (биотехнологических форм березы и осины).
- Kolobov A.N., Frisman E.Ya. Individual-based model of spatio-temporal dynamics of mixed forest stands // Ecological Complexity. 2016. V.27. P.29–39.
- Komarov A.S., Chertov O.G., Zudin S.L., Nadporozhskaya M.A., Mikhailov A.V., Bykhovets S.S., Zudina E.V., Zoubkova E.V. EFIMOD 2 – a model of growth and cycling of elements in boreal forest ecosystems. Ecological Modelling. 2003. V. 70. P. 373–392. doi: 10.1016/S0304-3800(03)00240-0.
- Liesebach M., von Wuechlich G., Muhs H.J. Aspen for short-rotation coppice plantations on agricultural sites in Germany: Effects of spacing and rotation time on growth and biomass production of aspen progenies. Forest Ecology & Management. 1999. V. 121. P. 25–39. doi: 10.1016/S0378-1127(98)00554-4.