

ИЗМЕНЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ В ЛЕСАХ ЕВРОПЫ

Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) относится к одной из самых распространенных древесных пород в Европе, а ее древесина широко используется в лесопромышленном комплексе. Наличие систематических тенденций в изменении плотности древесины будет касаться не только экологических проблем, таких как ветроустойчивость деревьев, способность к депонированию углерода и др., но также и экономических и технологических вопросов, таких как пригодность древесины для строительства и для использования в энергетических целях.

В исследовании используются данные определения биомассы стволов в коре деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в странах Европы, начиная с 1948 года [4]. В общей сложности для анализа были отобраны 2208 наблюдений, сделанных на 91 лесном участке на территории России, Финляндии, Швеции, Украины, Белоруссии, Польши, Чехии, Швейцарии, Испании, Великобритании и других стран. Наибольшее количество модельных деревьев относится к таким странам, как Украина (47,2 %), Россия (33,4 %), Швеция (7,7 %), Финляндия (5,2 %) и Белоруссия (1,7 %).

Чтобы проверить гипотезу о влиянии календарного года на биомассу фракций, проводился регрессионный анализ с применением линейных моделей смешанных эффектов (LMM) [3]. В качестве базовой модели для фиксированных эффектов рассматривалась аллометрическая зависимость биомассы ствола в коре от объема ствола в коре. В частности, она позволяет от объемов и биомассы стволов перейти к усредненным значениям плотности древесины. С учетом календарного года и случайных эффектов уравнение записывается в следующем виде:

$$\ln(M_{it}) = \beta_0 + \beta_1 \times \ln(v_{it}) + \beta_2 \times YEAR_{it} + \beta_3 \times YEAR_{it} \times \ln(v_{it}) + b_i + \varepsilon_{it}, \quad (1)$$

где M – биомасса, кг; v – объем ствола, дм^3 ; $YEAR$ – календарный год; i – индекс пробной площади; t – индекс момента времени; β_0 - β_2 – параметры фиксированных эффектов; b_i – случайный эффект пробной площади ($b_i \sim N(0, \tau^2)$); ε_{it} – случайная ошибка ($N(0, \sigma^2)$); N – функция нормального распределения. Подогнанные модели биомассы демонстрируют (таблица 1) статистически достоверное влияние (при $p < 0.05$) объема ствола, и календарного года на биомассу стволов в коре.

Оценки параметров уравнения показывают, что при одних и тех же значениях объема стволов произошло снижение их биомассы. Масса и объем определяют плотность древесины. Таким образом, вместе с уменьшением биомассы произошло закономерное снижение ее плотности.

Таблица 1 – Результаты аппроксимации моделей биомассы

Биомасса стволов в коре					
Фиксированный эффект	Переменная	Параметр	Оценка	Стандартная ошибка	p-значение
	<i>Intercept</i>	β_0	2.221e+01	2.157e+00	< 2e-16***
	$\ln(v)$	β_1	-2.652e+00	2.778e-01	< 2e-16***
	<i>YEAR</i>	β_2	-1.151e-02	1.076e-03	< 2e-16***
	$YEAR \times \ln(v)$	β_3	1.816e-03	1.391e-04	< 2e-16***
Случайный эффект	Уровень	Параметр	Стандартное отклонение		
	Пробная площадь	b_i	1.194e-02		
	Остатки	ε_{it}	3.162e-02		

Изменение биомассы зависит от размеров древесных стволов. Наиболее сильно они проявляются для деревьев в молодняках и средневозрастных насаждениях, где происходит формирование наибольшего радиального прироста. Для крупномерных стволов, например, с объемом 1000 дм³, согласно результатам моделирования снижения биомассы стволов в коре и плотности древесины не прослеживается: в 1940 году биомасса составляла 360,5 кг, а в 2020 году – 391,4 кг (+8,6 %). В ближайшие десятилетия в результате продолжающихся климатических изменений процесс снижения биомассы и плотности древесины крупномерных стволов должен усилиться.

Происходящие климатические изменения, с одной стороны, привели к ускорению роста древостоев как в центральной, так и восточной Европе [1, 2], а с другой - к снижению прочности древесины, содержания в ней энергии и углерод депонирующих функций. В условиях ускоряющихся темпов роста древесных растений объемы столов и запасы древесины не должны напрямую пересчитываться в депонированный углерод с учетом исторических значений конверсионных коэффициентов. Это также следует учитывать при мониторинге, моделировании и использовании углерода и биомассы в лесах в условиях глобальных изменений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дубенок Н.Н., Кузьмичев В.В., Лебедев А.В. Результаты экспериментальных работ за 150 лет в Лесной опытной даче Тимирязевской

сельскохозяйственной академии: монография. М.: Наука, 2020. – 382 с.

2. Лебедев А.В. Динамика продуктивности и средообразующих свойств древостоев в условиях городской среды: на примере Лесной опытной дачи Тимирязевской академии: дис... канд. с.-х. наук. - Москва, 2019. - 234 с.

3. Лебедев А.В., Кузьмичев В.В. Регрессионные модели смешанных эффектов в лесохозяйственных исследованиях // Сибирский лесной журнал. 2021. № 1.

4. Усольцев В.А. Фитомасса модельных деревьев для дистанционного зондирования и наземной таксации лесов Евразии: монография / В.А. Усольцев. – 2-е изд., доп. – Екатеринбург: Уральский государственный лесотехнический университет; Ботанический сад Уральского отделения Российской академии наук, 2020.

УДК 630*165.3

Л. В. Можаровская, науч. сотр.;
С. В. Пантелеев, канд. биол. наук, вед. науч. сотр.;
О. Ю. Баранов, д-р биол. наук, зав. лаб.
(Институт леса НАН Беларуси, г. Гомель)

РАЗРАБОТКА ДИАГНОСТИЧЕСКОГО НАБОРА ПРАЙМЕРОВ ДЛЯ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ЭКСПРЕССИИ ЛОКУСОВ, АССОЦИИРОВАННЫХ С УСТОЙЧИВОСТЬЮ К ИНФЕКЦИОННОМУ ПОЛЕГАНИЮ СЕЯНЦЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

Лесовосстановительные мероприятия с использованием семян древесных растений, характеризующихся повышенной устойчивостью к инфекционным болезням, лежат в основе формирования устойчивых и высокопродуктивных насаждений. Одним из инструментов отбора устойчивых генотипов деревьев является применение молекулярно-генетического подхода с количественной оценкой экспрессионной активности генов конститутивной и индуцированной защиты.

Проведенные ранее нами исследования, на основе анализа данных транскриптома проростков сосны обыкновенной в условиях заражения *Fusarium* sp. – возбудителя инфекционного полегания семян, позволили идентифицировать перечень конститутивных и патоген-индуцированных генов, детерминирующих защитные механизмы на стадии проростков [1]. Среди 150 кодирующих последовательностей, характеризующихся наибольшим уровнем экспрессии, был выявлен обширный спектр EST-локусов, детерминирующих структурные и функциональные полипептиды