

Леса России и хозяйство в них. 2024. № 2 (89). С. 41–47.

Forests of Russia and economy in them. 2024. № 2 (89). P. 41–47.

Научная статья

УДК 630.24

DOI: 10.51318/FRET.2024.89.2.005

ВОЗРАСТНАЯ ДИНАМИКА ВЫСОТЫ ПОДРОСТА ОСИНЫ НА ВЕТРОВАЛЬНОЙ ПЛОЩАДИ В ПОСТВЕТРОВАЛЬНЫЙ ПЕРИОД

Зуфар Ягфарович Нагимов¹, Станислав Анатольевич Мочалов²,
Галина Викторовна Анчугова³, Ирина Сергеевна Сальникова⁴

¹⁻⁴ Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

¹ nagimovzy@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6853-2375>

² slava.6051@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-6966-1145>

³ anchugovagv@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0717-3214>

⁴ salnikovais@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6236-1536>

Аннотация. В статье представлены результаты оценки возрастной динамики высоты подроста осины на ветровальной площади на ранних фазах постветровального периода. Исследования проводились в соответствии с методикой российско-швейцарского научного проекта на стационарном объекте, заложенном после крупномасштабного ветровала 1993 г. на территории Шайтанского лесничества Ново-Лялинского лесхоза. Выявлено, что признанные и широко используемые при описании возрастной динамики высоты деревьев и древостоев S-образные функции роста не совсем корректны и адекватны соответствующим экспериментальным материалам, полученным нами на опытном объекте. Это связано с тем, что предложенные разными исследователями S-образные кривые выражают большой период роста (от возникновения растения до его отмирания) и характеризуются возрастающей (вогнутой частью) и затухающей (выпуклой частью) ветвями, а нашими исследованиями охвачен небольшой возрастной диапазон в начале указанного периода.

На исследуемом объекте в большом количестве встречается подрост осины и семенного и порослевого происхождения. Происхождение растений оказывает значительное влияние на характер их роста по высоте. В исследованном возрастном диапазоне ход роста по высоте подрост семенного происхождения лучше всего описывается степенной функцией, а подрост порослевого происхождения – логарифмической. В первые годы жизни порослевые растения по высоте существенно опережают семенные. Однако в последующем темпы роста по высоте у порослевых растений постепенно снижаются, а у семенных, наоборот, повышаются. На исследуемом опытном участке в 9–10-летнем возрасте семенные растения по высоте догоняют порослевые.

Ключевые слова: ветровальная площадь, постветровальный период, осина, подрост, функции роста, происхождение, ход роста по высоте

Для цитирования: Возрастная динамика высоты подроста осины на ветровальной площади в постветровальный период / З. Я. Нагимов, С. А. Мочалов, Г. В. Анчугова, Г. В. Сальникова // Леса России и хозяйство в них. 2024. № 2 (89). С. 41–47.

Original article

AGE DYNAMICS OF ASPEN UNDERGROWTH HEIGHT ON THE WIND AREA IN THE POST-WIND PERIOD

Zufar Ya. Nagimov¹, Stanislav A. Mochalov², Galina V. Anchugova³,
Irina S. Salnikova⁴

¹⁻⁴ Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

¹ nagimovzy@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6853-2375>

² slava.6051@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-6966-1145>

³ anchugovagv@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0717-3214>

⁴ salnikovais@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6236-1536>

Abstract. The article presents the results of the assessment of the age dynamics of the height of aspen undergrowth on the wind farm area in the early phases of the post-winter period. The research was carried out in accordance with the methodology of the Russian-Swiss scientific project on a stationary object laid after a large-scale windfall in 1993 on the territory of the Shaitan forestry of the Novo-Lyalinsky Forestry. It was revealed that the S-shaped growth functions recognized and widely used in describing the age dynamics of the height of trees and stands are not quite correct and adequate to the corresponding experimental materials obtained by us at the experimental facility. This is due to the fact that the S-shaped curves proposed by various researchers express a long period of growth (from the emergence of the plant to its death) and are characterized by increasing (concave part) and fading (convex part) branches, and our research covers a small age range at the beginning of the specified period.

Aspen undergrowth of both seed and growth origin is found in large numbers on the object under study. The origin of plants has a significant impact on the nature of their height growth. In the studied age range, the course of growth in height of the undergrowth of seed origin is best described by a power function, and the undergrowth of seed origin is logarithmic. In the first years of life, overgrown plants are significantly ahead of seed plants in height. However, in the future, the growth rate in height in the seedlings gradually decreases, and in the seed plants, on the contrary, increases. At the experimental site under study at the age of 9–10, the seed plants were.

Keywords: wind area, post-wind period, aspen, undergrowth, growth functions, origin, course of growth in the area

For citation: Age dynamics of aspen undergrowth height on the wind area in the post-wind period / Z. Ya. Nagimov, S. A. Mochalov, G. V. Anchugova, I. S. Salnikova // Forests of Russia and economy in them. 2024. № 2 (89). P. 41–47.

Введение

Таежные леса на Среднем Урале часто подвергаются ветровалу. При этом разрушения древостоев иногда носят катастрофический характер (Иванчиков, Ходырева, 2009). На ветровальных площадях создаются специфические экологические условия для возобновления и роста подростов древесных пород. Поэтому исследование особенностей лесовосстановительного процесса на вет-

ровальных площадях, возрастной динамики таксационных показателей подростов разных видов древесно-кустарниковой растительности имеет как теоретическое, так и прикладное значение.

Следует отметить, что возрастная динамика таксационных показателей деревьев и древостоев на начальных этапах онтогенеза изучена крайне недостаточно. В частности, в таблицах хода роста она, как правило, показывается с 20-летнего возраста.

В то же время именно на начальных фазах развития насаждений зарождаются его основные структурные элементы, определяющие его организацию и будущую продуктивность (Маслаков, 1981). От скорости роста (в первую очередь по высоте) подраста разных пород на ветровальной площади в постветровальный период во многом зависят динамика лесовосстановительного процесса, исход межвидовых взаимоотношений, состав и структура формирующегося лесного насаждения.

Цель, методика и объект исследования

Основной целью данной работы явились оценка адекватности функций, предложенных разными исследователями для характеристики роста деревьев и древостоев, подбор лучшей из них и изучение возрастной динамики высоты подраста осины на ветровальной площади в постветровальный период.

Исследования проводились на стационарном объекте, заложенном после крупномасштабного ветровала (30.06.1993 г.) в рамках совместного российско-швейцарского научного проекта на территории Шайтанского лесничества Ново-Лялинского лесхоза. До ветровала на исследуемой площади произрастало спелое смешанное (ЗС2Лц4Б1Ос, ед. Е, П) насаждение. Тип леса – сосняк зеленомошно-ягодниковый. На данном объекте ветровальная площадь была разделена на три части, каждая из которых являлась отдельным вариантом опыта:

вариант 1 – без очистки ветровала;

вариант 2 – с очисткой ветровала;

вариант 3 – с очисткой ветровала и посадкой лесных культур.

В соответствии с методикой указанного научного проекта оценка естественного возобновления древесных пород проводилась на круговых учетных площадках с радиусом 4 м, заложенных на трансектах на одинаковом расстоянии друг от друга. На данных площадках для каждого древесного растения определялись следующие показатели: азимут и расстояние от центра учетной площадки до растения, высота, диаметр на высоте груди, происхождение (естественное семенное, естественное вегетативное, искусственное)

и состояние (здоровое, сомнительное, погибшее). Полевые исследования проводились с 1994 по 1998 гг. ежегодно, а в последующем через год – в 2000, 2002, 2004 и 2006 гг. Последние обмеры осуществлены при нашем участии в 2011 г. Возраст растений определялся в камеральных условиях по исходным данным с учетом года появления растения на учетной площадке.

Экспериментальным материалом для настоящих исследований послужили данные, полученные на ветровальной площади первого варианта опыта. На этой площади была заложена 51 круговая учетная площадка. Растения осины на них для исследования хода роста по высоте отбирались механическим путем. Объем выборки составил 113 измерений возраста и высоты растений семенного происхождения и 558 измерений растений подростового происхождения.

Результаты и обсуждение

В специальной литературе отмечается, что для выражения возрастной динамики высоты деревьев наиболее приемлемы S-образные кривые, представленные двумя ветвями – возрастающей (вогнутая часть кривой) и затухающей (выпуклая). Соотношение этих ветвей зависит от множества внутренних и внешних факторов и потому может быть весьма разнообразным (Кузьмичев, 1977). В этой связи эти кривые могут быть описаны различными функциями. По данным В. В. Кузьмичева (2013), исследователями разных стран предложено более сотни уравнений роста. Однако до сих пор универсальной функции роста не найдено. Многие исследователи в качестве наилучшей выбирают функцию, в большей степени соответствующую экспериментальным данным.

Следует отметить, что на начальном этапе онтогенеза рост древесных растений в высоту, как правило, передается вогнутой кривой (возрастающая ветвь S-образной кривой), которая, начинаясь от начала координат, вначале поднимается медленно, а затем более высокими темпами вплоть до точки перелома.

На начальном этапе исследований нами на нашем экспериментальном материале произведена оценка корректности и адекватности функций,

предложенных разными исследователями для описания возрастной динамики высоты деревьев, с целью подбора лучшей из них. Для этой цели по каждому уравнению рассчитывался коэффициент детерминации (R^2).

Предварительный графический анализ зависимости высоты подростка от возраста показал, что ее характер существенным образом зависит от происхождения растений (семенное или порослевое). Поэтому при проведении данных исследований были сформированы две выборки растений с учетом их происхождения.

Результаты аппроксимации хода роста по высоте семенных растений осины различными функциями представлены в табл. 1.

Из данных табл. 1 видно, что по величине коэффициента детерминации лучшими для описания возрастной динамики высоты подростка осины семенного происхождения следует признать степенную функцию ($R^2 = 0,690$) и функцию роста Бакма-

на ($R^2 = 0,700$). Остальные испытанные функции (особенно прямолинейная без свободного члена) характеризуются более низкими значениями коэффициента детерминации. Большинство авторов при подобных исследованиях считают правильным предпочтение отдавать более простым уравнениям, константы которых имеют биологическое объяснение. К числу таких функций относят степенную (Кузьмичев, 1977; Усольцев, 1985; Нагимов, 2000; и др.). В наших исследованиях на графиках она значительно лучше соответствовала фактическим данным, чем уравнение Бакмана и другие уравнения, приведенные в табл. 1.

Этого и следовало ожидать: возрастная динамика высоты растений в самый начальный период онтогенеза не может корректно описываться как S-образными кривыми (представляющими собой сумму двух ростовых функций), так и кривыми, передающими наблюдающееся замедление с возрастом темпов роста.

Таблица 1
Table 1

Уравнения зависимости высоты H растений осины семенного происхождения от их возраста A
Equations of dependence of height H of aspen plants of seed origin on their age A

Название функции (автор, источник) Function name (author, source)	Параметры уравнения Parameters of the equation	Коэффициент детерминации Coefficient of determination	№ уравнения № equation
Прямолинейная Rectilinear	$H = 23,814 A$	0,555	(1)
Степенная Power-law	$H = 28,916 A^{0,829}$	0,690	(2)
Логарифмическая Logarithmic	$H = 51,195 \ln A + 27,136$	0,602	(3)
Экспоненциальная Exponential	$H = 24,508 e^{0,304A}$	0,606	(4)
Ф. Корсуна F. Korsun	$H = 29,450 A^{(1,107 - 0,395 \lg A)}$	0,606	(5)
Митчерлиха Mitcherlich	$H = 200 (1 - e^{-0,166 A})^{0,991}$	0,605	(6)
Леваковича Levakovich	$H = 28,320 / (1 + 8,799/A) + 10,949$	0,604	(7)
Бакмана Bakman	$\lg H = 1,442 + 1,141 \lg A - 0,453 \lg^2 A$	0,700	(8)
Моисеева Moiseev	$H = 22,072 + 6,932 A + 78,409 \lg A$	0,606	(9)

В связи с вышеизложенным при оценке возрастной динамики высоты подроста осины семенного происхождения в начальной фазе роста предпочтение следует отдать степенной функции, которая корректно описывает возрастание изучаемого признака с ускоряющимися темпами. Указанная особенность возрастания высоты подроста (прогрессивное увеличение во времени) хорошо передается также экспоненциальной кривой. Однако она в отличие от степенной не исходит от начала координат. Несколько другие результаты получены при описании этими же функциями хода роста по высоте подроста осины порослевого происхождения (табл. 2). При анализе данных табл. 2 выявляется, что в ней значения коэффициента детерминации по всем уравнениям заметно ниже, чем в табл. 1. Видимо, это связано с большей дифференциацией по высоте порослевых растений по сравнению с таковой у растений семенного происхождения.

Причем все функции (кроме прямолинейной) характеризуются очень близкими коэффициента-

ми детерминации. Значения этого показателя колеблются в пределах от 0,523 (функция роста Митчерлиха) до 0,577 (функция Бакмана).

Происхождение подроста оказывает существенное влияние и на характер исследуемой зависимости. На опытной площади порослевые растения осины достигают внушительной высоты уже в конце первого вегетационного периода. Высота однолетних растений колеблется от 25 до 120 см. В последующие годы темпы роста постепенно снижаются. На графиках наилучшее соответствие фактическим данным и характеру зависимости высоты растений порослевого происхождения от их возраста показывает логарифмическая функция. Она использована нами в дальнейших исследованиях.

Наглядное представление о возрастной динамике высоты подроста можно получить на основе анализа соответствующих числовых данных. Такие данные для растений семенного происхождения получены табулированием уравнения (2), а для порослевых растений – уравнения (12). Они представлены в табл. 3.

Таблица 2

Table 2

Уравнения зависимости высоты растений осины порослевого происхождения от их возраста
Equations of dependence of the height of aspen plants of sprout origin on their age

Название функции (автор, источник) Function name (author, source)	Параметры уравнения Parameters of the equation	Коэффициент детерминации Coefficient of determination	№ уравнения № equation
Прямолинейная Rectilinear	$H = 31,776 A$	0,028	(10)
Степенная Power-law	$H = 57,037 A^{0,588}$	0,550	(11)
Логарифмическая Logarithmic	$H = 55,099 \ln A + 68,184$	0,528	(12)
Экспоненциальная Exponential	$H = 56,813 e^{0,1798A}$	0,414	(13)
Ф. Корсуня F. Korsun	$H = 55,371 A^{(0,969 - 0,518 \lg A)}$	0,537	(14)
Митчерлиха Mitcherlich	$H = 200 (1 - e^{-0,234 A})^{0,766}$	0,523	(15)
Леваковича Levakovich	$H = 19,908 / (1 + 2,726/A) 11,385$	0,529	(16)
Бакмана Bakman	$\lg H = 1,724 + 0,940 \lg A - 0,472 \lg^2 A$	0,577	(17)
Моисеева Moiseev	$H = 61,774 - 6,816 A + 169,0,15 \lg A$	0,535	(18)

Таблица 3
Table 3

Возрастная динамика высоты подроста осины
на ветровальной площади
Age dynamics of aspen undergrowth height
on the wind farm

Возраст, лет Age, years	Высота растений, см Plant height, cm	
	семенного происхождения seed origin	порослевого происхождения growth origin
1	28,9	58,2
2	51,4	96,4
3	71,9	118,7
4	91,3	134,6
5	109,8	146,9
6	127,8	156,9
7	145,2	165,4
8	162,2	172,8
9	178,9	179,2
10	195,2	185,1

Из данных табл. 3 видно, что в первые годы жизни порослевые растения по высоте существенно опережают семенные. В первую очередь это объясняется следующим обстоятельством. Корневые отпрыски и пневая поросль, обладая мощной материнской корневой системой, растут чрезвычайно быстро, в то время как семенные растения должны сформировать собственную корневую систему, на что уходит определенное время. В последующем темпы роста по высоте у семенных растений постепенно увеличиваются, а у порослевых, наоборот, уменьшаются. Поэтому подрост семенного происхождения по высоте догоняет порослевой подрост. На исследуемом опытном участке это наблюдается в 9–10-летнем возрасте.

В целом результаты исследований (графическая интерпретация фактических данных, значения коэффициента детерминации) свидетельствуют, что при описании возрастной динамики высоты растений и семенного и порослевого происхождения адекватность широко используемых в подобных работах S-образных функций роста невысока.

Выводы

Динамика лесовосстановительного процесса, исход межвидовых взаимоотношений, состав и структура формирующегося лесного насаждения на ветровальных площадях во многом определяются скоростью роста подроста разных пород на ранних фазах постветровального периода. На Среднем Урале существенную роль в процессе лесовосстановления ветровальников играет осина.

Проверка возможности описания возрастной динамики высоты подроста осины в начальной фазе этого процесса широко используемыми S-образными кривыми роста, показала их невысокую адекватность и корректность нашим экспериментальным данным. Эта связано с тем, что S-образные кривые выражают большой период роста (от возникновения растения до его отмирания) и характеризуются возрастающей (вогнутой частью) и затухающей (выпуклой частью) ветвями, а нашими исследованиями охвачен небольшой возрастной диапазон в начале указанного периода.

На исследуемом объекте в большом количестве встречается подрост осины и семенного и порослевого происхождения. Происхождение оказывает значительное влияние на характер роста растений по высоте. Ход роста по высоте подрост семенного происхождения лучше всего описывается степенной функцией, а подрост порослевого происхождения – логарифмической. В первые годы жизни порослевые растения по высоте существенно опережают семенные. Однако в последующем темпы роста по высоте у порослевых растений постепенно снижаются, а у семенных, наоборот, повышаются. На исследуемом опытном участке в 9–10-летнем возрасте семенные растения по высоте догоняют порослевые.

В целом данные о скорости роста древесных растений в начальной фазе онтогенеза, не указываемые в таблицах хода роста древостоев, – это важная и полезная информация не только при оценке лесовосстановительных процессов, но и во многих других аспектах. В частности, они необходимы для совершенствования методических и теоретических основ моделирования роста и производительности лесных насаждений, планирования работ по очистке просек под линиями связи и электропередачи и т. д.

Список источников

- Иванчиков С. В., Ходырева Ю. Н. Особенности роста подроста предварительной генерации пихты сибирской на ветровальных площадях Висимского заповедника // Стационарные биогеоценологические исследования на Урале. Екатеринбург : УрО РАН, 2009. С. 55–62.
- Кузьмичев В. В. Закономерности роста древостоев. Новосибирск : Наука, 1977. 160 с.
- Кузьмичев В. В. Закономерности динамики древостоев. Новосибирск : Наука, 2013. 208 с.
- Маслаков Е. Л. Эколого-ценотические факторы возобновления и формирования (организации) насаждений сосны : автореф. дис. ... д-ра биол. наук / Маслаков Евгений Лукич. Свердловск : УНЦ ИЭРиЖ, 1981. 50 с.
- Нагимов З. Я. Закономерности роста и формирования надземной фитомассы сосновых древостоев : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук / Нагимов Зуфар Ягфарович. Екатеринбург : УГЛТУ, 2000. 40 с.
- Усольцев В. А. Моделирование структуры и динамики фитомассы древостоев. Красноярск : Наука, 1985. 192 с.

References

- Ivanchikov S. V., Khodyreva Yu. N. Growth peculiarities of Siberian fir undergrowth of preliminary generation on windy areas of Visimsky zapovednik // Stationary biogeo-technological studies in the Urals. Yekaterinburg : Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. 2009. P. 55–62.
- Kuzmichev V. V. Laws of growth of forest stands. Novosibirsk : Nauka, 1977. 160 p.
- Kuzmichev V. V. Regularities of stand dynamics. Novosibirsk : Nauka, 2013. 208 p.
- Maslakov E. L. Ecological and cenotic factors of renewal and formation (organization) of pine plantations: autoref. diss. ... Dr. of Biological Sciences. Sverdlovsk : UNC IERiZh, 1981. 50 p.
- Nagimov Z. Ya. Laws of growth and formation of above-ground phytomass of pine stands : autoref. diss. Dr. of agricultural sciences. Yekaterinburg : UGLTU, 2000. 40 p.
- Usoltsev V. A. Modeling of structure and dynamics of phytomass of forest stands. Krasnoyarsk : Nauka, 1985. 192 p.

Информация об авторах

- З. Я. Нагимов – доктор сельскохозяйственных наук, профессор;
С. А. Мочалов – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент;
Г. В. Анчугова – аспирант;
И. С. Сальникова – кандидат сельскохозяйственных наук.

Information about the authors

- Z. Ya. Nagimov – Doctor of Agricultural Sciences, Professor;
S. A. Mochalov – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor;
G. V. Anchugova – postgraduate student;
I. S. Salnikova – Candidate of Agricultural Sciences.

Статья поступила в редакцию 26.10.2023; принята к публикации 10.12.2023.

The article was submitted 26.10.2023; accepted for publication 10.12.2023.
