

УДК 630\*181.1:630\*228.8

DOI: 10.37482/0536-1036-2021-5-34-47

## ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ СТРУКТУРЫ СОСНОВОГО ДРЕВОСТОЯ НА ЮЖНОМ СКЛОНЕ ВОСТОЧНОГО САЯНА

*Н.Ф. Овчинникова, канд. биол. наук; ResearcherID: [AAE-2105-2020](https://orcid.org/0000-0002-2417-3796),*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2417-3796>*

Институт леса им. В.Н. Сукачёва Сибирского отделения РАН – Красноярский научный центр СО РАН, Академгородок, 50/28, г. Красноярск, Россия, 660036; e-mail: [nf@ksc.krasn.ru](mailto:nf@ksc.krasn.ru)

Оригинальная статья / Поступила в редакцию 05.03.20 / Принята к печати 11.05.20

**Аннотация.** Из-за относительно длительного развития и большой продолжительности жизни лесообразующих видов значительная часть выводов о динамике насаждений основана на данных, собранных косвенными методами сравнительного изучения, анализа сообществ, составляющих гипотетически временные или пространственные сукцессионные ряды, и нуждается в проверке и уточнении. Наиболее достоверные сведения о динамике древостоев могут быть получены на стационарных объектах – постоянных пробных площадях. Представлены результаты анализа материалов многолетнего мониторинга (1968–2012 гг.) соснового (*Pinus sylvestris* L.) древостоя в низкогорной части Восточного Саяна на южном склоне крутизной 7–8°. Использован метод периодических замеров морфометрических показателей закартированных на постоянной пробной площади деревьев. Показано, что сумма площадей сечения стволов деревьев на высоте 1,3 м и запасы древесины на нижнем, центральном и верхнем равновеликих участках пробной площади за весь период наблюдений отличались не более чем на 10 %. В то же время неоднородность экологических условий, имеющая место даже на небольшом отрезке пологого склона, сказывается на интенсивности самоизреживания насаждения. Уже в 42-летнем древостое отношение густоты на нижнем, центральном и верхнем участках составляло 1:1,5:2,1. Разница в густоте древостоя по склону со временем постепенно снижалась, но и во время его последнего учета оставалась около 30 %. За годы наблюдений на нижнем участке сохранилось 53 % сосен, на центральном – 47 %, на верхнем – всего 32 %. Вычисленный средний возраст усохших деревьев показал, что во всех группах естественных ступеней толщины наблюдалось более раннее отмирание сосен внизу склона с постепенным увеличением возраста усыхания вверх по склону. Деревья с большим диаметром ствола (первый учет) погибали позднее. Все это приводило к перестройке горизонтальной структуры насаждения, снижению среднего диаметра и среднего объема деревьев вверх по склону. Характерный для горных лесов клинальный тип размещения деревьев, влияющий на их морфологические показатели, необходимо учитывать при исследовании и моделировании лесных экосистем, а также при проведении лесохозяйственных мероприятий.

**Для цитирования:** Овчинникова Н.Ф. Особенности пространственно-временной структуры соснового древостоя на южном склоне Восточного Саяна // Изв. вузов. Лесн. журн. 2021. № 5. С. 34–47. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-5-34-47

**Благодарность:** Автор признателен д-ру биол. наук, проф. В.В. Кузьмичеву за предоставленные архивные материалы, а также канд. физ.-мат. наук О.П. Секретенко и студентам Сибирского федерального университета А. Кравченко и Е. Мельниковой за помощь в получении новых данных в 2012 г.

*Ключевые слова:* древостой, сосна обыкновенная, постоянная пробная площадь, динамика роста и пространственной структуры, клинальное размещение, Восточный Саян.

## SPATIOTEMPORAL STRUCTURE FEATURES OF A PINE STAND ON THE SOUTH SLOPE OF THE EASTERN SAYAN MOUNTAINS

*Natalya F. Ovchinnikova*, Candidate of Biology; ResearcherID: [AAE-2105-2020](https://orcid.org/0000-0002-2417-3796),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2417-3796>

V.N. Sukachev Institute of Forest of the Krasnoyarsk Science Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Akademgorodok 50/28, Krasnoyarsk, 660036, Russian Federation; e-mail: [nf@ksc.krasn.ru](mailto:nf@ksc.krasn.ru)

**Original article** / Received on March 5, 2020 / Accepted on May 11, 2020

**Abstract.** Due to relatively long development and long life of forest-forming species most of the conclusions on stand dynamics are based on the data collected by indirect methods of comparative research and analysis of cenosis forming theoretically temporal and spatial succession sequences and need to be verified and clarified. The most reliable results on the stand dynamics can be received on stationary objects such as permanent sample areas. The article presents the analysis results of long-term monitoring (1968–2012) of a pine (*Pinus sylvestris* L.) stand in low-mountain Eastern Sayan on the south slope with a steepness of 7–8°. The intermittent test of morphometric indicators of trees mapped on the permanent sample area was used. It is shown that the sum of tree trunk cross-section areas at breast height (1.3 m) varied by no more than 10 % with timber reserves on the lower, central and upper equal sites of the sample area during the entire observation period. At the same time heterogeneity of ecological conditions, taking place even on a small section of a smooth slope, influences the plantation self-thinning intensity. In the 42-year-old stand density ratio at lower, central and upper sites was 1:1.5:2.1. Stand density difference along the slope had been decreasing gradually over time, although it remained around 30 % at the time of the last observation. Over the years of observation, 53, 47, and 32 % of pines on the lower, central, and upper sites, respectively, have survived. The calculated average age of the died trees showed that in all groups of natural diameter classes, there was an earlier die-off of pines at the bottom of the slope with an increase in dying age up to the slope. Trees with larger trunk diameter (first telling) died later. All this led to a rearrangement of the horizontal structure of the plantation, a decrease in the average diameter and average volume of trees up to the slope. Typical for mountain forests clinal tree distribution, which affects their morphological indicators, is important to consider when studying and modeling forest ecosystems, as well as when implementing forest management measures.

**For citation:** Ovchinnikova N.F. Spatiotemporal Structure Features of a Pine Stand on the South Slope of the Eastern Sayan Mountains. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2021, no. 5, pp. 34–47. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-5-34-47

**Acknowledgements:** The author is grateful to Doctor of Biology, Professor V.V. Kuzmichev for the provided archival materials and Candidate of Physics and Mathematics O.P. Sekretenko, and students of the Siberian Federal University A. Kravchenko and E. Melnikova for their help in obtaining new data in 2012.

**Keywords:** forest stand, Scots pine, permanent sample area, stand structure and growth dynamics, clinal tree distribution, Eastern Sayan.

*Введение*

Рациональное лесопользование и улучшение качественного состава лесов должны базироваться на знании определяющих продуктивность древостоев и всю фитоценоотическую структуру лесных экосистем закономерностей формирования и строения естественных насаждений [6, 7, 14, 20, 24]. Сложность вопроса состоит в том, что, приспосабливаясь к условиям среды, деревья соответственно генотипическим особенностям, размерам и состоянию вырабатывают специфический тип роста, от которого зависят внутривидовая изменчивость и дифференциация [6, 9, 16, 24], формирующая в каждом древесном ценозе свою пространственную структуру [18–20].

Для изучения пространственной структуры древостоев используются различные методы [2, 3, 5, 6, 12, 13, 21–23, 26, 27 и др.]. Статистически сопоставляются фактическое распределение особей в формируемых ими сообществах и ожидаемое случайное распределение. Принято выделять 3 типа размещения деревьев: случайное, равномерное (регулярное, разреженное) и групповое (агрегированное, контагиозное).

Изучение горизонтальной структуры древостоев позволяет углубить знания о биологической устойчивости лесов, усовершенствовать методики научных исследований и повысить эффективность методов лесной таксации, учета и оценки естественного возобновления древесных ценозов, разработать теорию, методы рубок ухода и главного пользования [2, 3, 6, 7, 17, 24].

Горные леса отличаются от равнинных. За счет разнообразности, контрастности и мозаичности условий произрастания в горах биогеоценозы с разной структурой территориально сближены [27], в то время как такие древостои на равнине расположены за тысячи километров друг от друга [14]. Отсюда вытекает необходимость учета при решении исследовательских и прикладных задач специфики природного разнообразия горных лесов, в первую очередь их горизонтальной структуры как основного эдификатора биогеоценозов. Причем влияние высотно-климатических поясов и экспозиции склона на лесорастительные условия общепризнано [9, 14, 17], а воздействие самого склона на древостой практически не учитывается.

Из-за относительно длительного развития и значительной продолжительности жизни деревьев большинство выводов о динамике лесной растительности основаны на сведениях, собранных косвенными методами сравнительного изучения, анализа сообществ, составляющих гипотетически временные или пространственные сукцессионные ряды, и нуждаются в проверке и уточнении [6]. Самые достоверные данные о динамике растительности получают на стационарных объектах – постоянных пробных площадях, число которых ограничено. Длительных рядов наблюдений, фактических сведений относительно мало [2, 3, 6, 14].

Анализ многолетних данных (1976–2008 гг.) пространственной структуры производного осинового древостоя и динамики возобновительного процесса в Западном Саяне [10] показал, что на постоянной пробной площадке (30×40 м) при крутизне склона менее 5° различие в распределении и росте древесной растительности статистически достоверно [11].

Цель настоящей работы – на фактическом материале длительных стационарных наблюдений за лесной растительностью выявить влияние склона

на рост и пространственно-временную структуру древостоя. Задача – проследить рост и динамику структуры естественного сосняка, отметить неравномерность этих показателей по склону на сравнительно небольших площадях. Считаем нужным обратить внимание исследователей горных лесов на необходимость изучения и учета рассмотренного явления.

#### *Объекты и методы исследования*

Исследования проводились на постоянной пробной площади, заложенной в 1968 г. на территории Караульного учебно-опытного лесничества Сибирского технологического института. Пробная площадь расположена с южной стороны (уклон 7–8°) в низкогорной части Восточного Саяна (56°01' с. ш., 92°39' в. д.) в естественном одновозрастном сосняке разнотравном I класса бонитета. При закладке пробы все деревья были пронумерованы и закартированы. В 1968, 1972, 1977, 1984, 1990 и 1997 гг. у каждого экземпляра мерной вилкой в направлениях С–Ю и З–В измеряли диаметр ствола на уровне 1,3 м от земли, а с помощью высотомера-эклиметра и базисной мерной ленты – высоту. За весь период наблюдений повреждений древостоя по причине воздействия природных или антропогенных факторов не обнаружено.

В 2011 г. для проведения дальнейшего мониторинга результаты инвентаризации пробной площади за 1968–1997 гг. были переданы автору данной статьи. В 2012 г. средний диаметр дерева определяли измерением окружности ствола на расстоянии 1,3 м от земли рулеткой EXECUTIVE, а высоту – лазерным высотомером FORESTRY 550.

Поскольку при закладке постоянной пробной площади сетка координат была ориентирована по направлению С–Ю, а не по склону местности, принято решение о перекартировке деревьев посредством увязывания одной из осей координат с направлением склона. Для подготовки к картированию примерно через середину пробной площади вдоль склона проложили визир и в обе стороны от него наметили перпендикулярную линию. Таким образом, полученные визиры увязаны с рельефом местности. От места пересечения прямых с интервалом 5 м установили кольца двух размеров, для лучшей ориентации чередуя их. Местоположение других опорных линий, проложенных по просветам в обе стороны от визира вдоль склона, определяли методом засечек из 2–3 точек лазерными дальномерами INFINITER 80 и DLE 70. На всех опорных линиях также установили кольца с интервалом 5 м.

Расстояние до деревьев, находящихся в определенной полосе, измеряли дальномером от двух кольев, располагающихся по пограничным опорным линиям, и заносили в специальную ведомость. Местоположение деревьев, отмеченных на картосхеме 1968 г. и отсутствующих в 2012 г., определяли по пням или (в камеральный период) методом подobia выполненных в масштабе 1:100 картосхем 1968 и 2012 гг. По отмеченным в 2012 г. основаниям стволов приняли точку начала координат, относительно которой установили координаты каждого дерева (рис. 1).

Для определения типа размещения деревьев на основе планов их картирования использовали критерий относительной дисперсии, характеризующий отклонение от случайного распределения при заданном размере учетных площадок. Признаком случайного распределения растений является равенство средней плотности ( $N$ ) и дисперсии ( $\sigma^2$ ), то есть  $\sigma^2/N = 1$ ; при равномерном типе  $\sigma^2/N < 1$ , а при групповом размещении  $\sigma^2/N > 1$  [12].

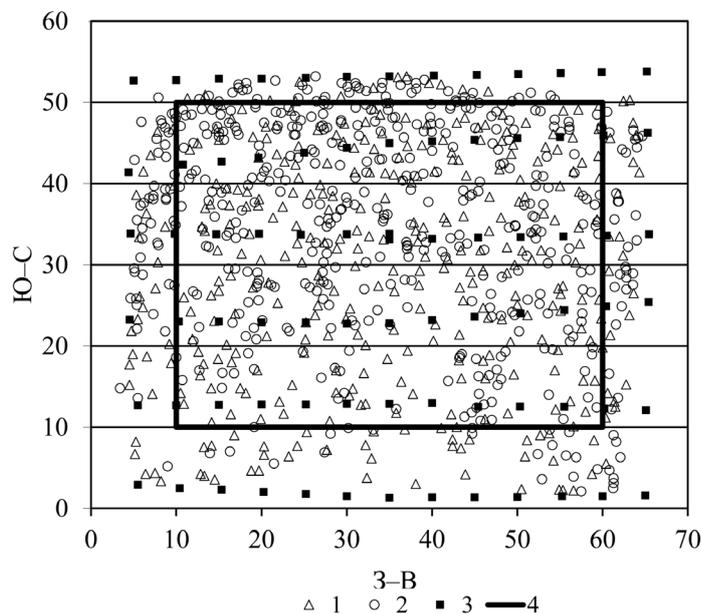


Рис. 1. План-схема размещения деревьев и разметки на постоянной пробной площади, м: 1 – деревья, растущие в 2012 г.; 2 – отпад в 1968–2012 гг.; 3 – опорные точки; 4 – границы участка площадью 0,2 га

Fig. 1. Schematic diagram of trees distribution and marking on the permanent sample area, m: 1 – alive trees in 2012; 2 – dead trees in 1968–2012; 3 – reference points; 4 – 0.2 ha site borders

Для каждого дерева по диаметру рассчитывали площадь поперечного сечения ствола, а по его высоте при помощи таблицы М.М. Орлова [1] определяли «условный» класс бонитета. Средний бонитет древостоя вычисляли как частное от деления суммы произведений площадей сечения деревьев и их условных бонитетов на сумму площадей сечения.

Объем ствола дерева находили по формуле:  $V = gHf$ , где  $g$  – площадь поперечного сечения ствола на высоте 1,3 м, м<sup>2</sup>;  $H$  – высота ствола (дерева), м;  $f$  – видовое число. Для деревьев сосны  $f = 0,40 + 1,4H^{-1}$ , для лиственницы  $f = 0,37 + 1,95H^{-1}$ , для березы  $f = 0,394 + 1,15H^{-1}$  [4]. Вычисление таксационных показателей пробной площади по всем учетам проводили при помощи общепринятых в лесной таксации методик с получением средневзвешенной площади поперечного сечения и высоты дерева [1].

Для понимания процесса самоизреживания древостоя устанавливали связь сохранности и роста дерева с рангом естественной ступени толщины (ЕСТ), рассчитываемым путем деления диаметра каждого экземпляра на средний диаметр данной породы на пробе [1]. Для удобства изложения материала ЕСТ были объединены в 3 группы: тонкие (до 0,8), средние (0,9–1,1) и крупные (1,2 и более).

Средний возраст перехода деревьев в сухостой находили как частное от деления суммы произведений количества усохших деревьев в межучетный период и среднего возраста древостоя в середине этого периода на сумму усохших деревьев.

Запас древесины определяли суммированием объемов стволов. Все остальные морфометрические параметры рассчитывали как среднеарифметические.

Всю информацию о пробной площади с бумажных носителей переносили в электронную базу данных [15]. Результаты экспериментов обрабатывали с помощью программы MS Excel и получали статистические параметры. Достоверность данных на уровне значимости  $\alpha = 0,05$  [8]. Из-за малой представленности в древостое лиственницы и березы достоверность значений для них не определяли.

### *Результаты исследования и их обсуждение*

Подробный анализ динамики ростовых процессов в древостое на рассматриваемой постоянной пробной площади за период 1968–1997 гг. приведен в монографии А.А. Вайса [2]. В 1968 г. было учтено 851 дерево, в т. ч. живых – 742 и отпавших – 109 шт. Состав живого яруса – 90С8Л2Б, сухостоя и валежа – 90С10Л.

В 2012 г. даже визуальное обследование указывало на неоднородность таксационных показателей древостоя по территории. Особенно наглядно различие прослеживалось в нижней (по склону) части пробной площади. Обработка данных полевых исследований выявила разницу (сохранялась в течение всего периода мониторинга) таксационных показателей древостоев в этой части пробы (0,05 га) и на остальной ее территории (0,25 га). В 1968 г. густота древостоя внизу склона составляла 1,4 тыс. шт./га, а на остальной части пробы – 2,7 тыс. шт./га. Разница густоты древостоя – 48 %. К 2012 г. из-за несходства в темпах естественного изреживания, она снизилась до 18,2 %. Средние высоты древостоев на этих частях пробы были практически равны: в первый учет – 13,8 и 13,9 м, в последний – 24,7 и 25,5 м. Сильнее различались средние диаметры – 16,8 и 13,0 см в 1968 г.; 28,7 и 25,1 см в 2012 г. соответственно.

Обращает на себя внимание малочисленность деревьев в периферийной части пробы (см. рис. 1). Это не связано со снижением густоты древостоя, а объясняется тем, что в 2012 г. учитывали только закартированные в 1968 г. деревья и не учитывали экземпляры, оказавшиеся в пределах постоянной пробной площади после переориентации сетки координат. На основании этого было принято решение использовать первичный материал только части постоянной пробной площади, представленной прямоугольником с координатами углов X10Y10, X10Y50, X60Y50, X60Y10. Общий размер включающей в себя 100 элементарных площадок 4×5 м территории – 0,2 га. Элементарные площадки объединены в 10 ленточных трансект вдоль и поперек склона (табл. 1). На них в первый учет зафиксировано 601 дерево, в том числе усохших сосен – 73 шт.

Таксационная характеристика древостоя на выделенном участке представлена в табл. 2. Видно, что в составе насаждения преобладает сосна, ее доля по числу стволов за 44 года наблюдений снизилась с 89 до 85 %, а доля лиственницы возросла на 4 %. По запасу стволовой древесины за время мониторинга процент двух этих видов практически не менялся. Отмечено малое (1–2 %), но стабильное участие березы. Отпад наблюдался среди всех пород, в том числе лиственницы и березы – не более 13 %.

Таблица 1

**Матрица распределения деревьев по элементарным площадкам на постоянной пробной площади в 1968 г.**

Координаты, м	X10– X15	X15– X20	X20– X25	X25– X30	X30– X35	X35– X40	X40– X45	X45– X50	X50– X55	X55– X60	Сумма, шт.
Y46–Y50	12	11	14	12	13	11	8	12	6	11	110
Y42–Y46	6	6	9	9	7	6	6	9	4	4	66
Y38–Y42	7	9	8	6	7	9	6	5	6	8	71
Y34–Y38	8	8	3	10	9	5	4	5	11	6	69
Y30–Y34	3	7	3	9	5	10	8	3	8	5	61
Y26–Y30	5	9	3	10	3	7	4	7	3	6	57
Y22–Y26	4	6	3	7	5	3	3	9	5	7	52
Y18–Y22	4	5	4	2	4	2	6	6	5	7	45
Y14–Y18	6	8	1	6	2	2	2	8	1	3	39
Y10–Y14	2	2	2	2	3	2	3	7	2	6	31
Сумма, шт.	57	71	50	73	58	57	50	71	51	63	601

Таблица 2

**Динамика таксационных параметров древостоя на постоянной пробной площади**

Год учета	Густота, тыс. шт./га	Состав по густоте, %	Средние показатели			Площадь сечений, м <sup>2</sup>	Запас, м <sup>3</sup> /га	Состав по запасу, %
			возраст, лет	диаметр, см	высота, м			
1968	$\frac{2,64}{0,36}$	$\frac{89С9Л2Б}{100С}$	42	$\frac{13,0}{6,7}$	$\frac{13,8}{7,5}$	$\frac{35,3}{1,3}$	$\frac{243,1}{5,7}$	92С6Л2Б
1977	$\frac{2,15}{0,49}$	$\frac{88С10Л2Б}{95С2Л3Б}$	51	$\frac{15,7}{8,9}$	$\frac{18,4}{11,8}$	$\frac{41,6}{3,0}$	$\frac{363,1}{18,3}$	92С6Л2Б
1990	$\frac{1,63}{0,52}$	$\frac{86С12Л2Б}{94С4Л2Б}$	64	$\frac{19,0}{10,7}$	$\frac{22,3}{15,2}$	$\frac{46,2}{4,8}$	$\frac{473,0}{35,5}$	92С6Л2Б
1997	$\frac{1,48}{0,15}$	$\frac{85С13Л2Б}{87С3Л10Б}$	71	$\frac{20,9}{11,3}$	$\frac{23,5}{15,4}$	$\frac{50,6}{1,6}$	$\frac{543,2}{11,7}$	92С7Л1Б
2012	$\frac{1,15}{0,33}$	$\frac{85С13Л2Б}{88С11Л1Б}$	86	$\frac{24,7}{14,4}$	$\frac{25,4}{19,0}$	$\frac{55,1}{5,3}$	$\frac{631,6}{47,8}$	92С7Л1Б

Примечание: В числителе – живые деревья; в знаменателе – отпад.

Общие таксационные характеристики древостоя не отражают его горизонтальную структуру, изучение которой позволяет выявить: степень равномерности размещения деревьев на пробной площади; вариацию запаса древесины на разных участках; естественное изреживание насаждения, меняющее его густоту и запас; влияние склона на эти показатели. Для рассмотрения динамики естественного изреживания древостоя с увеличением возраста и изменения объема стволовой древесины провели статистическую обработку матриц густоты деревьев и запаса древесины на выделенных ленточных трансектах.

Из табл. 3 видно, что средние густота и запас ( $M$ ) в пределах трансекты меняются с возрастом древостоя. Стандартные отклонения ( $\sigma$ ), указывающие на разбросанность значений рядов распределения числа деревьев и суммы объемов их стволов на участках, расположенных вдоль и поперек склона, имели существенные различия: вдоль склона в 2,3–2,5 раза (в последний учет – в 1,8 раза) меньше, чем в расположенных поперек.

Таблица 3

**Динамика густоты и запаса и их статистических показателей в зависимости от расположения древостоя на склоне**

Год	Густота			Запас		
	$N$ , шт., в трансекте	$\sigma(t)^*$ по склону		$M$ , м <sup>3</sup> в трансекте	$\sigma(t)$ по склону	
		вдоль	поперек		вдоль	поперек
1968	60,1	9,23 (20,59)	21,69 (8,76)	4,97	0,64 (24,69)	0,49 (32,06)
1977	52,8	7,51 (22,23)	18,68 (8,94)	7,57	0,99 (24,44)	0,81 (29,54)
1990	43,1	5,82 (23,42)	13,68 (9,96)	10,14	1,28 (22,22)	1,26 (25,44)
1997	32,6	3,10 (33,27)	7,49 (13,77)	11,10	1,60 (22,03)	1,38 (25,42)
2012	29,5	2,76 (33,81)	4,99 (18,68)	13,56	1,57 (23,30)	1,74 (24,72)

\*Критерий Стьюдента, табличное значение  $t$  при уровне значимости 0,01 и числе степеней свободы 9 составляет 2,82.

Можно предположить, что различие статистического показателя густоты древостоя в трансектах, расположенных вдоль и поперек склона, обусловлено влиянием рельефа на размещение деревьев на пробной площади, как ранее было выявлено в структуре осинового древостоя в черневом поясе Западного Саяна [11].

Статистическая обработка матрицы распределения деревьев по 100 элементарным площадкам в 1968 г. (см. табл. 1) показала: при среднем числе деревьев 6,01 шт. на площадке дисперсия составляет 8,9. Так как  $\sigma^2/N > 1$ , тип размещения деревьев – групповой. Однако данные расчетов, приведенные в табл. 4, свидетельствуют о том, что на одной и той же пробной площади, расположенной на склоне, один и тот же метод определения типа размещения деревьев может дать противоречивые результаты: устойчивый групповой тип – по данным 10 ленточных трансект, вытянутых поперек склона, и равномерный – по данным 10 трансект, идущих вдоль склона. Тип пространственного размещения деревьев при одинаковых условиях отражает сложные взаимоотношения между особями в насаждении [16, 18, 19, 21, 25].

Можно предположить, что склон – мощный абиотический фактор среды – влияя на перераспределение атмосферных осадков, водный и тепловой режимы почвы, ее перемещение, движение питательных веществ, оказывает существенное воздействие на пространственную структуру древостоя, постепенно и направленно изменяет плотность популяции. Она, в свою очередь, влияет на рост растений, их биомассу. Для таких условий В.С. Ипатов и Л.А. Кирикова [5] используют термин «клинальное размещение».

Таблица 4

**Тип размещения деревьев верхнего яруса на постоянной пробной площади поперек и вдоль склона**

Средний возраст древостоя, лет	Трансекты поперек склона					Трансекты вдоль склона				
	$N$ , шт.	$\pm m^*$	$\sigma^2$	$\sigma^2/N$	Тип размещения	$N$ , шт.	$\pm m$	$\sigma^2$	$\sigma^2/N$	Тип размещения
42	60,1	6,86	470,5	7,83	Групповой	60,1	2,92	85,2	1,42	Групповой
51	52,8	5,91	348,9	6,61	Групповой	52,8	2,37	56,4	1,07	Близко к случайному
64	43,1	4,33	187,1	4,34	Групповой	43,1	1,84	33,9	0,79	Равномерный
71	32,6	2,37	56,1	1,72	Групповой	32,6	0,98	9,6	0,29	Равномерный
86	29,5	1,58	24,9	0,84	Равномерный	29,5	0,87	7,6	0,26	Равномерный

\* $\pm m$  – ошибка средней густоты.

Для проверки гипотезы проба была разбита на 3 вытянутых вдоль склона равных по площади участка. Обработка данных показала, что уже к периоду закладки постоянной пробной площади древостой представлял собой неоднородное по густоте насаждение (рис. 2, а).

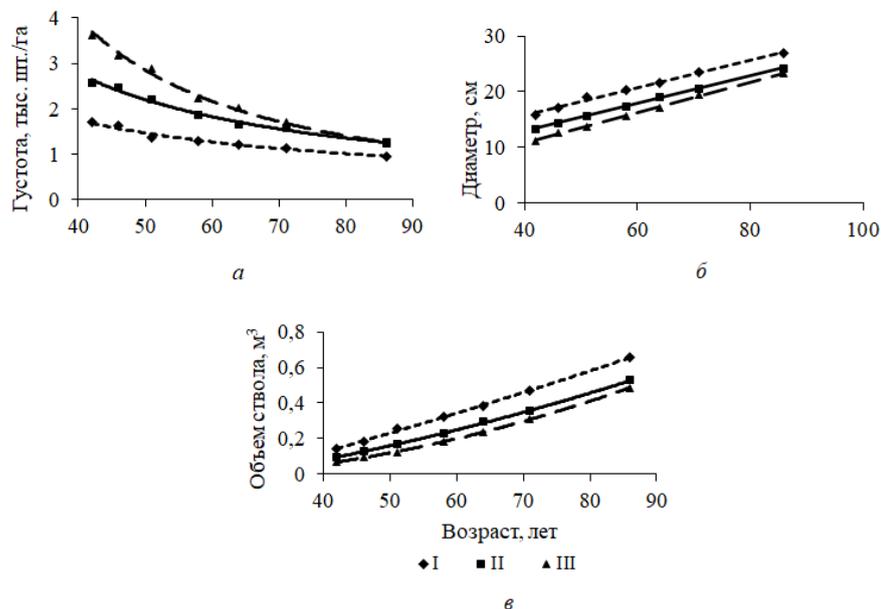


Рис. 2. Динамика густоты (а), среднего диаметра (б) и объема ствола (в) древостоя на разных участках постоянной пробной площади по склону: I – нижний; II – центральный; III – верхний

Fig. 2. Dynamics of density (а), mean diameter (б), and trunk volume (в) of the stand on different sites of the permanent sample area along the slope: I – lower; II – central; III – upper

Если густоту древостоя на нижнем по склону участке пробной площади принять за единицу, то на центральном участке этот показатель в 42-летнем древостое составлял 1,5, а на верхнем – 2,1. Разница в густоте по склону наблюдалась и в последующие годы: на центральном участке в возрасте 51 года – 1,6; в 64 и в 71 год – 1,4; а на верхнем – соответственно, 2,1, 1,7 и 1,5. В 2012 г., несмотря на общее снижение густоты древостоя в 2,3 раза, различие по этому показателю вдоль склона у нижнего и других участков хотя и сократилось, но оставалось около 30 %.

Повышенная густота на центральном и верхнем участках в наибольшей степени сказалась на росте деревьев в толщину. Это различие наблюдалось на протяжении почти 30 лет. И только к последнему учету, когда густота древостоев на центральном и верхнем участках выровнялась, средние диаметры стали иметь близкие значения (рис. 2, б). Влияние склона отражалось и на среднем объеме ствола дерева (рис. 2, в). В 42-летнем древостое этот показатель на нижнем участке был на 40 %, а на верхнем в 2 раза выше, чем на центральном. С увеличением возраста древостоя данное различие сглаживалось до 20–26 %.

Анализ динамики морфолого-таксационных признаков хвойных пород показал, что наибольшее различие по склону в росте деревьев наблюдалось в молодом возрасте. У сосны диаметр среднего дерева в 42 года на участках вверх по склону составлял 16,0; 13,4; 11,5 см, а у лиственницы – 14,8; 11,8; 9,0 см. К последнему учету в 86-летнем древостое средний диаметр сосны достиг на нижнем участке 27,7 см, а на центральном и верхнем практически сравнялся – 24,7 и 24,5 см. У лиственницы по среднему диаметру отличие между участками сохранялось – 22,2; 20,7; 15,6 см. Примечательно, что, несмотря на неоднородность насаждений по густоте и средним морфологическим показателям деревьев в разных частях склона, различия по сумме площадей сечений стволов деревьев на высоте 1,3 м и запасу древесины на всех участках составили не более 10 %.

Как видно из рис. 3, больше всего деревьев сосны с ЕСТ до 0,8, на которые в 1968 г. приходилось более 44 % численности этого вида на пробе, росло на верхнем участке (27,5 %). Все сосны, относящиеся к группе тонких, к последнему учету в нижней и центральной частях территории погибли. Жизнеспособность крупных деревьев колебалась от 85,4 до 95,0 %.

На всех участках у части деревьев наблюдалось ослабление роста в толщину, они сначала переходили в нижние естественные ступени толщины, а затем и погибали. Это приводило к перестройке горизонтальной структуры древостоя. К 2012 г. на нижнем участке осталось 53 % деревьев сосны, на центральном – 47 %, на верхнем – всего 32 % (табл. 5).

Доля сохранившейся лиственницы на пробной площади существенно больше, чем сосны, – 71 %. При этом на нижнем участке она составляла 89 %, а на центральном и верхнем – 65 и 63 %. Усыхали, как правило, тонкие деревья.

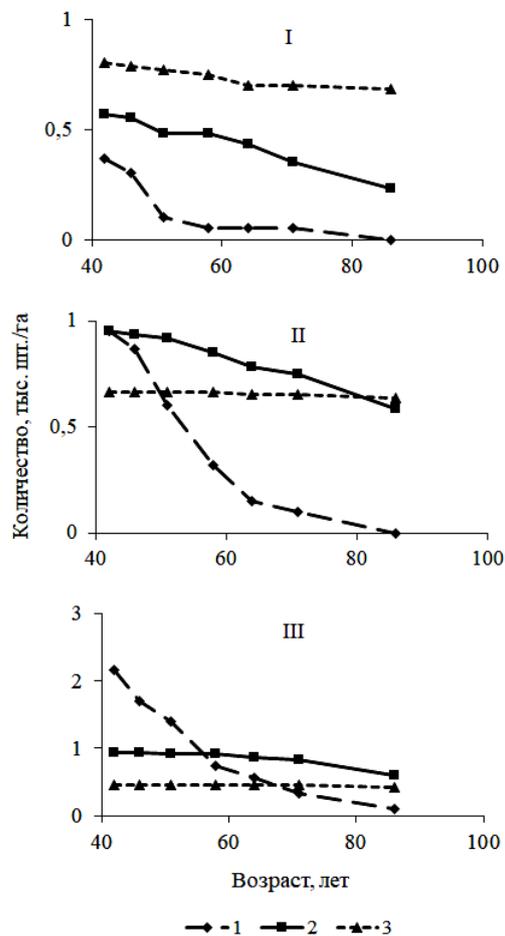


Рис. 3. Динамика количества сосны на нижнем (I), центральном (II) и верхнем (III) участках постоянной пробной площади по склону в разных группах естественных ступеней толщины: 1 – тонкие; 2 – средние; 3 – крупные

Fig. 3. Dynamics of the number of pines on the lower (I), central (II), and upper (III) sites of the permanent sample area on the slope in different groups of natural diameter classes: 1 – thin; 2 – medium; 3 – large

Таблица 5

**Влияние ранга естественных ступеней толщины сосны на ее сохранность и средний возраст гибели деревьев на разных участках постоянной пробной площади по склону**

Участок	Всего	ЕСТ в 1968 г.		
		тонкие	средние	крупные
<i>Сохранность на 2012 г., %</i>				
Нижний	53	0	41,2	85,4
Центральный	47	0	61,4	95,0
Верхний	32	4,7	64,3	92,6
Вся проба	41	2,9	57,8	90,4
<i>Средний возраст погибших деревьев, лет</i>				
Нижний	–	52,6	62,2	57,9
Центральный	–	56,1	66,8	69,2
Верхний	–	56,3	72,6	78,5

Следует отметить, в течение всего периода наблюдений условный бонитет древостоя в нижней части склона был на 0,2–0,1 единицы бонитета выше, чем в средней, и на 0,4–0,1 больше, чем в верхней.

### Заключение

Анализ материалов многолетнего мониторинга одновозрастного соснового древостоя на постоянной пробной площади, расположенной с южной стороны в низкогорной части Восточного Саяна, показал, что неодинаковость экологических условий на склоне, имеющая место даже на небольшом его отрезке, в первую очередь влияет на интенсивность самоизреживания древостоя по склону.

Более сильная конкуренция растений в лучших условиях проявляется в большей скорости отпада отставших в росте деревьев. На разных участках одновозрастного сосняка, что показали данные о среднем возрасте усохших экземпляров, деревья отмирают раньше внизу склона и позднее вверх по склону. Это приводит к постепенному и направленному повышению густоты древостоя, снижению среднего диаметра и среднего объема стволов вверх по склону.

За счет естественной дифференциации роста сосны при разной густоте на склоне сумма площадей сечения стволов и запасы древесины отличаются не более чем на 10 % в разных частях территории. С развитием древостоя происходит перестройка его пространственной структуры. При общем снижении густоты в 2,3 раза различия по этому показателю сглаживаются, но остаются около 30 % на участках по склону.

Клиновое размещение и неравномерный рост деревьев на склонах необходимо учитывать при исследовании лесных экосистем, моделировании и проведении лесохозяйственных мероприятий.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Анучин Н.П. Лесная таксация. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 552 с. Anuchin N.P. *Forest Inventory*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1982. 552 p.
2. Вайс А.А. Динамика ростовых процессов в сосновом древостое: моногр. Красноярск: СибГТУ, 2007. 198 с. Weis A.A. *Dynamics of Growth Processes in Pine Stands: Monograph*. Krasnoyarsk, SibSTU Publ., 2007. 198 p.
3. Грабарник П.Я., Шанин В.Н., Чертов О.Г., Припутина И.В., Быховец С.С., Петропавловский Б.С., Фролов П.В., Зубкова Е.В., Шашков М.П., Фролова Г.Г. Моделирование динамики лесных экосистем как инструмент прогнозирования и управления лесами // Лесоведение. 2019. № 6. С. 488–500. Grabarnik P.Ya., Shanin V.N., Chertov O.G., Priputina I.V., Bykhovets S.S., Petropavlovskii B.S., Frolov P.V., Zubkova E.V., Shashkov M.P., Frolova G.G. Modelling of Forest Ecosystem Dynamics: An Instrument for Forest Prediction and Management. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2019, no. 6, pp. 488–500. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0024114819030033>
4. Загреев В.В., Сухих В.И., Швиденко А.З., Гусев Н.Н., Мошкалева А.Г. Общесоюзные нормативы для таксации лесов. М.: Колос, 1992. 495 с. Zagreyev V.V., Sukhikh V.I., Shvidenko A.Z., Gusev N.N., Moshkaleva A.G. *All-Union Standards for Forest Inventory*. Moscow, Kolos Publ., 1992. 495 p.
5. Ипатов В.С., Кирикова Л.А. Фитоценология. СПб.: СПбГУ, 1997. 316 с. Ipatov V.S., Kirikova L.A. *Phytocenology*. Saint Petersburg, SPbU Publ., 1997. 316 p.

6. Кузьмичев В.В. Закономерности динамики древостоев: принципы и модели: моногр. Новосибирск: Наука. 2013. 208 с. Kuz'michev V.V. *Forest Stands Dynamics Regularities: Principles and Models*. Novosibirsk, Nauka Publ., 2013. 208 p.

7. Мелехов И.С. Лесоводство. М.: МГУЛ, 2003. 320 с. Melekhov I.S. *Forestry*. Moscow, MGUL Publ., 2003. 320 p.

8. Митропольский А.К. Техника статистических вычислений. М.: Наука, 1971. 576 с. Mitropol'skiy A.K. *Statistical Calculations Technique*. Moscow, Nauka Publ., 1971. 576 p.

9. Морозов Г.Ф. Отрывочные заметки из лекций по Общему Лесоводству // Изв. вузов. Лесн. журн. 1918. Вып. 6-8. С. 154–184. Morozov G.F. Fragmentary Notes from the Lectures on General Forestry. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 1918, no. 6-8, pp. 154–184.

10. Овчинникова Н.Ф. Возобновительные процессы в производных лесах черневого пояса Западного Саяна: дис. ... канд. биол. наук. Красноярск, 2005. 205 с. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16053372>. Ovchinnikova N.F. *Recovery Processes in Secondary Forests in the Taiga Belt of Western Sayan*: Cand. Biol. Sci. Diss. Krasnoyarsk, 2005. 205 p.

11. Овчинникова Н.Ф., Овчинников А.Е. Динамика структуры осинового древостоя в черневом поясе Западного Саяна // Лесоведение, 2016. № 6. С. 418–425. <https://elibrary.ru/item.asp?id=27486991>. Ovchinnikova N.F., Ovchinnikov A.E. Structural Dynamics of Aspen Stand in Dark Taiga Domain in Western Sayan. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2016, no. 6, pp. 418–425.

12. Одум Ю. Основы экологии. М.: Мир, 1975. 740 с. Odum Yu. *Fundamentals of Ecology*. Moscow, Mir Publ., 1975. 740 p.

13. Рогозин М.В., Красильников П.А. Леса-долгожители вблизи города Перми и их структура // Антропогенная трансформация природной среды. 2017. Вып. 3. С. 165–168. Rogozin M.V., Krasilnikov P.A. Long-Winding Forests near the City of Perm and Their Structure). *Antropogennaya transformatsiya prirodnoy sredy* [Anthropogenic Transformation of Nature], 2017, iss. 3, pp. 165–168.

14. Рысин Л.П. Биогеоэкологические аспекты изучения леса. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2013. 290 с. Rysin L.P. *Biogeocenology Aspects in Forest Studies*. Moscow, Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK Publ., 2013. 290 p.

15. Свидетельство о государственной регистрации базы данных. Учеты деревьев на постоянных пробных площадях Красноярского края: № 2011620706, зарег. 30.09.2011 / Н.Ф. Овчинникова, А.Е. Овчинников. Ovchinnikova N.F., Ovchinnikov A.E. *Database State Registration Certificate. Telling of Trees on the Permanent Sample Areas of Krasnoyarsk Krai: No. 2011620706*. 2011.

16. Сеннов С.Н. О перспективах роста деревьев разного размера и методах рубок ухода // Лесн. хоз-во. 2002. № 4. С. 28–29. Sennov S.N. On the Growth Prospects of Trees of Different Sizes and Improvement Thinning Methods. *Lesnoye khozyaystvo*, 2002, no. 4, pp. 28–29.

17. Сукачев В.Н. Избр. тр.: в 3 т. / под ред. Е.М. Лавренко. Т. I: Основы лесной типологии и биогеоэкологии. Л.: Наука, 1972. 418 с. Sukachev V.N. *Selected Papers: In 3 Vol. Ed. by E.M. Lavrenko. Vol. I: Forest Typology and Biogeocenology Basics*. Leningrad, Nauka Publ., 1972. 418 p.

18. Филенкова Н.В., Суховольский В.Г., Захаров Ю.В., Овчинникова Н.Ф. Кластерная модель ветроустойчивости деревьев с учетом ближайших соседей // Хвойные бореальной зоны. 2011. Т. 28, № 1-2. С. 91–97. Filenkova N.V., Sukhovolsky V.G., Zakharov Yu.V., Ovchinnikova N.F. Model of Trees Wind Stability with Effect of Interactions between Neighbours. *Hvoynye boreal'noj* [Conifers of the boreal area], vol. 28, no. 1-2, pp. 91–97.

19. Erfanifard Y., Nguyen H.H., Schmidt J.P., Rayburn A. Fine-Scale Intraspecific Interactions and Environmental Heterogeneity Drive the Spatial Structure in Old-Growth

Stands of a Dioecious Plant. *Forest Ecology and Management*, 2018, vol. 425, pp. 92–99. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.05.041>

20. Erfanifard Y., Stereńczak K. Intra- and Interspecific Interactions of Scots Pine and European Beech in Mixed Secondary Forests. *Acta Oecologica*, 2017, vol. 78, pp. 15–25. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.actao.2016.12.002>

21. Erfanifard Y., Stereńczak K., Miścicki S. Management Strategies Alter Competitive Interactions and Structural Properties of Norway Spruce in Mixed Stands of Białowieża Forest, Poland. *Forest Ecology and Management*, 2019, vol. 437, pp. 87–98. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.01.035>

22. Illian J., Penttinen A., Stoyan H., Stoyan D. *Statistical Analysis and Modelling of Spatial Point Patterns*. Chichester, UK, Wiley, 2008. 560 p.

23. Perry G.L.W., Miller B.P., Enright N.J. A Comparison of Methods for the Statistical Analysis of Spatial Point Patterns in Plant Ecology. *Plant Ecology*, 2006, vol. 187, iss. 1, pp. 59–82. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11258-006-9133-4>

24. Pretzsch H. *Forest Dynamics, Growth and Yield*. Berlin, Springer, 2009. 664 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-540-88307-4>

25. Strimbu B.M., Petritan I.C., Montes C., Biris I.A. An Assessment of the O-Ring Methodology Using Virgin Stands of Mixed European Beech – Sessile Oak. *Forest Ecology and Management*, 2017, vol. 384, pp. 378–388. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.10.055>

26. Xiang W., Liu S., Lei X., Frank S.C., Tian D., Wang G., Deng X. Secondary Forest Floristic Composition, Structure, and Spatial Pattern in Subtropical China. *Journal of Forest Research*, 2013, vol. 18, iss. 1, pp. 111–120. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10310-011-0329-7>

27. Zhang Z.-H., Hu G., Zhu J.-D., Luo D.-H., Ni J. Spatial Patterns and Interspecific Associations of Dominant Tree Species in Two Old-Growth Karst Forests, SW China. *Ecological Research*, 2010, vol. 25, iss. 6, pp. 1151–1160. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11284-010-0740-0>