

УДК 630*18:[582.475.4:581.526]
DOI: 10.36305/0513-1634-2021-141-44-54

СИСТЕМНАЯ ЦЕЛОСТНОСТЬ И СХОДСТВО ПРОСТРАНСТВЕННО-ВОЗРАСТНОЙ СТРУКТУРЫ ПОДРОСТА СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ И СОСНЫ КРЫМСКОЙ

Андрей Николаевич Салтыков

Институт «Агротехнологическая академия» КФУ им. В.И. Вернадского
295492, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, п. Аграрное
E-mail: saltykov.andrey.1959@mail.ru

Результаты исследований процессов естественного возобновления сосновых лесов (*Pinus sylvestris* L.), выполненные нами на территории южной покатости Русской равнины, а также в условиях предгорного и горно-лесного Крыма (*Pinus pallasiana* D. Don), позволили выдвинуть предположение о сходстве пространственной структуры подроста видов рода *Pinus*. В каждом конкретном случае инвариантность и в тоже время разномасштабность структуры ценопопуляций подроста объяснима комплементарностью биоэкологических свойств самосева и подроста ёмкости существующих экологических ниш, авторегуляцией структуры ценопопуляции в соответствии с динамикой изменения экологических факторов, лимитирующих процесс естественного возобновления. Подобие пространственной структуры ценопопуляций подроста *Pinus sylvestris* и *P. pallasiana* и составляющих элементов является аргументом в пользу предположения о фрактальной природе процесса, позволяющей объяснить механизмы устойчивости лесных экосистем. Выявленные структурно-функциональные особенности рассматриваемого процесса служат основанием для углубления теории естественного возобновления и совершенствования комплекса мероприятий по сохранению биологического разнообразия и устойчивости лесов с доминированием видов рода *Pinus*.

Ключевые слова: сосна; естественное возобновление; подрост; биогруппа, ценопопуляция; экосистема

Введение

Снижение текущего прироста по достижении насаждением возраста спелости сопровождается частичным отпадом древостоя и формированием разрывов в пологе насаждений. Являясь неотъемлемой частью жизненного цикла, всплески естественного возобновления, согласованы с изменениями пространственно-возрастной структуры лесных массивов [1, 2, 6, 7, 11]. Однако трансформация структуры насаждения и формирование жизнеспособных поколений подроста – закономерные, но далеко не всегда взаимообусловленные события. В равной мере распад насаждения или его фрагмента нередко сопровождается заменой типобразующей породы на второстепенную, что влечёт за собой формирование производных древостоев, а, следовательно, потерю устойчивости, биологического разнообразия и продуктивности лесов [2, 11, 12, 15]. В то время как успешная реализация репродуктивного потенциала сосняков в самосев и подрост возможна лишь при благоприятном стечении экологических условий [11, 12]. В связи с актуальностью соблюдения принципов устойчивого лесопользования в практике ведения лесного хозяйства, исследованию процессов естественного возобновления уделялось и в настоящее время уделяется достаточно большое внимание [1, 2, 5-8, 10-15]. За многие десятилетия исследований сложилась методология и методика наблюдений, применение которых, с одной стороны, являются объективной основой сравнительного анализа и оценки полученных результатов, с другой стороны, многократно выверенный порядок исследования приводит к подтверждению ранее полученных результатов. В ряде случаев закономерности процесса, установленные опытным путём, противоречат друг другу. Так, например, известно, что сосна обыкновенная и крымская являются ярко

выраженными пирогитными видами, соответственно процессы естественного возобновления достаточно жёстко привязаны к условиям пирогенного ряда [6-8, 11-13]. Вместе с тем, существует немало примеров, когда после масштабных лесных пожаров естественное возобновление сосны отсутствует на протяжении десятков лет, или же на месте некогда коренных древостоев формируются насаждения с доминированием мягколиственных, второстепенных пород [8, 11]. Исследованиями установлено, что всплески возобновления цикличны во времени, однако под пологом материнских насаждений жизнеспособный подрост сосны практически отсутствует [1, 2, 11, 12, 15]. Биогруппы подроста можно наблюдать лишь в «окнах» полога древостоя. В лесостепной и степной зонах, по мнению исследователей, жизнеспособный подрост сосредоточен в конусах полуденной тени разрывов в пологе насаждений [2, 11]. На открытых не затенённых участках таких «окон» неизбежны процессы экологического замещения. В тоже время многочисленный и жизнеспособный подрост пристепных боров присутствует на открытых пространствах горельников, пустырей, землях, выведенных из-под сельскохозяйственного пользования [6, 11-14].

Вероятно, противоречивость результатов научного поиска является итогом определённого этапа, который следует отнести к периоду накопления и обобщения опытного материала, а его результаты служат основой для формирования пакета рабочих гипотез, систематизации и углубления знаний относительно структурно-функциональных закономерностей процесса возобновления. Совершенствование методологии исследований и последующий переход к системному анализу стали возможными в связи с появлением концепции сообщества и экологической ниши [4]. Не менее важным этапом систематизации существующих знаний является формирование понятия «ценопопуляции подроста» и «субценопопуляционного фрагмента», предложенные Ю.А. Злобиным: «При возобновлении на вырубках и гарях ценопопуляция подроста древесной породы соответствует ценопопуляции данного вида в её полном объёме. В случае возобновления под пологом материнской породы совокупность особей подроста является лишь частью ценопопуляции вида. В связи с экологической самостоятельностью подроста такую субценопопуляцию подроста допустимо рассматривать отдельно» [5].

Очевидность сохранения биологического разнообразия и устойчивости лесов, восстановления коренных древостоев предполагают дальнейшее углубление исследований указанного направления. Целью наших исследований является сравнительный анализ пространственно-возрастной структуры подроста видов рода *Pinus* (*Pinus sylvestris* L., *Pinus pallasiana* D. Don), а также оценка динамики биометрических показателей подроста, формирующих основу структуры ценопопуляций в границах существующего пространства возобновления.

Объекты и методы исследования

Изучение структурно-функциональных особенностей процессов естественного возобновления сосны обыкновенной и сосны крымской были выполнены нами на территории южной покатости Русской равнины, а также в предгорном и горно-лесном Крыму на протяжении 2003-2021 гг. Принимая во внимание особенности пространственно-возрастной структуры подроста видов рода *Pinus* (*Pinus sylvestris*, *P. pallasiana*) нами был предусмотрен дифференцированный подход к формированию сети опытных объектов. В первую очередь серия пробных площадей была заложена под пологом лесных массивов с доминированием *Pinus sylvestris* и *P. pallasiana*. После этого наблюдения были сосредоточены в границах разрывов полога материнских насаждений: окнах, полянах, прогалинах. На следующем этапе выполнены

исследования подроста, приуроченного к границам линейных контуров горельников и земель, выведенных из-под сельскохозяйственного назначения.

Под пологом материнских насаждений размещена сеть учётных площадок размером 1×1 м (1 м^2) на регулярно расположенных трансектах [3]. Количество учётных площадок на объекте исследования колебалось от 100 до 200 шт. В «окнах» полога древостоя с целью уточнения и детализации структуры субценопопуляционных фрагментов был предусмотрен синхронный учёт подроста. Наряду с традиционным подходом и формированием пробных площадей по методике С.С. Пятницкого (1959) [10] была заложена сеть примыкающих друг другу учётных площадок размером 1×2 м, образующих ленту, равную длине конуса полуденной тени разрыва полога материнского насаждения. На открытых пространствах горельников и землях, выведенных из-под сельскохозяйственного пользования, сформирована система пробных площадей в соответствии с методикой С.С. Пятницкого (1959) [10]. Для обеспечения репрезентативности полученных данных предусмотрена четырёхкратная повторность пробных площадей в рамках соответствующего варианта опыта. На пробных площадях для подроста определялась высота (см), возраст (лет), для подроста высотой менее 1,3 м замерялся диаметр шейки корня (мм), у растений достигших указанной высоты устанавливался диаметр на уровне груди (см), фиксировался прирост верхушечной оси за последний год (см). Проекция кроны подроста замерялась во взаимно противоположных направлениях (см) и оценивалось состояние растения [11]. В рамках предложенного анализа использованы данные 252 пробных площадей и 500 учётных площадок, а также результаты ранее выполненных исследований с привлечением широко известных методик [3, 5, 10, 12]. Такой подход позволил обобщить, систематизировать и в ряде случаев откорректировать результаты предыдущего периода исследований.

Результаты и обсуждение

Всплески естественного возобновления сосны обыкновенной и крымской с определённой периодичностью следуют за плодоношением древостоев. Исследованиями установлено, что для большей части лесных массивов логическим завершением всплеска является затухание волны возобновления [11, 12]. Случайно размещённый одиночный и нежизнеспособный подрост длительное время остаётся подтверждением несостоявшегося популяционного взрыва. В то же время формирование жизнеспособных ценопопуляций подроста в большинстве своём приурочено к условиям пирогенного ряда [6-8, 11-13]. В результате успешной реализации репродуктивного потенциала сосняков формируется единое пространство процесса возобновления, границы которого близки или совпадают с пространственной матрицей лесного пожара [11-13]. Между указанными крайними вариантами событий возможен спектр переходных в той или иной мере, отражающих степень соответствия ёмкости экологической ниши и биоэкологических свойств самосева и подроста сосны. Так, при выполнении полевых исследований под пологом материнских насаждений нами зафиксировано сочетание значительной доли «пустых» площадок наряду с площадками, приуроченными к густым биогруппам, где количество растений достигало нескольких десятков шт./ м^2 [11]. Очевидно, что контагиозность размещения всходов и самосева сосны и формирование первичной пространственной структуры биогрупп подроста на начальных этапах становления субценопопуляционных фрагментов обусловлены структурой плодоношения материнских насаждений и особенностями гаревого субстрата насаждений, пройденных низовым пожаром [11, 12]. Варьирование плотности биогрупп и доминирование растений одного возраста является характерной чертой сложившихся субценопопуляционных фрагментов. В первые два года существования подроста

наблюдается сравнительно успешный его рост. На третий и четвёртый год жизни прослеживается снижение прироста верхушечной оси растений по сравнению с подростом, приуроченным к открытым пространствам гарей и вырубок, обусловленное адаптивной реакцией растений на световой режим подпологового пространства материнского насаждения [2, 11, 12, 15]. Со временем отставание в росте и развитии усиливается, и подрост переходит в депрессивное состояние, уступая своё место растениям экологическим аналогам. В итоге под пологом материнских насаждений за сравнительно короткий период времени происходит резкое снижение жизненного состояния и численности подроста (табл. 1). Результаты наших исследований показывают, что в течение сравнительно короткого временного периода его количество сокращается в 40-45 раз [11]. При этом весь уцелевший подрост переходит в депрессивное состояние, перспектива его дальнейшего роста и развития отсутствует. В качестве подтверждения приведён характерный пример субценопопуляции подроста сосны обыкновенной и крымской на десятый год их существования.

Таблица 1

Количество подроста сосны обыкновенной и сосны крымской под пологом материнского насаждения на десятый год существования

Наименование	Высота, см	Точность опыта, %	Варьирование, %	Количество тыс. шт/га	Состояние
Сосна обыкновенная	20,2 ± 0,89	4,4	75,4	8,2	депрессивное
Сосна крымская	24,9 ± 0,91	3,6	47,1	16,9	депрессивное

Одним из наиболее вероятных следствий всплеска естественного возобновления сосны в границах подкронового пространства лесных массивов является заполнение разрывов полога материнских насаждений в соответствии с известной гипотезой мозаико-циклической закономерности появления новых поколений и формирования точечной структуры размещения очагов возобновления в пространстве лесных массивов [1]. Исследованиями установлено, что подросту сосны в таких нишах возобновления свойственно наличие определённой структуры и отчётливо выраженной внешней границы биогруппы, соответствующей контуру полуденной тени насаждения [2, 11]. В частности, отличительной чертой пространственной структуры сложившихся субценопопуляционных фрагментов является постепенное снижение плотности подроста от периферии «окна» к границе конуса полуденной тени и синхронное варьированию плотности изменение комплекса биометрических показателей (табл. 2). Одиночный подрост, расположенный за пределами внешних контуров биогрупп, отстаёт в росте и со временем погибает. По мнению исследователей, причиной его гибели является экологический режим открытых, незатенённых участков «окон» и нарастающая конкуренция растений экологических аналогов, как правило, типичных представителей злаково-степного разнотравья [2, 8, 11].

Таблица 2

Биометрическая оценка подроста сосны обыкновенной в «окнах» полога древостоя

Удаление от стены, м	Количество, тыс. шт/га	Высота подроста, см	Верхушечный прирост, см	Жизненное состояние
2,1 – 4,0	30,0	52,7 ± 4,71	10,4 ± 3,07	депрессивное
4,1 – 6,0	65,0	62,9 ± 4,24	9,5 ± 0,81	депрессивное
6,1 – 8,0	65,0	68,2 ± 4,25	10,4 ± 1,03	депрессивное
8,1 – 10,0	67,5	99,3 ± 3,66	18,6 ± 1,02	устойчивое
10,1 – 12,0	42,5	121,9 ± 11,48	28,5 ± 42,5	устойчивое
12,1 – 14,0	7,5	156,3 ± 5,61	26,6 ± 2,41	устойчивое
14,1 – 16,0	15,0	215,8 ± 15,57	43,3 ± 2,35	цветущее

Таким образом, процесс затухания волны возобновления под пологом материнских насаждений сопровождается расслоением существующих субценопопуляционных фрагментов, как минимум, на две разные по жизненному состоянию категории растений и локализацией очагов возобновления в пространстве лесных массивов. Заполнение разрывов полога материнских насаждений подростом согласуется с известной гипотезой *cap-mosaic* и предполагает формирование точечной структуры размещения очагов возобновления в пространстве лесных массивов [1].

Несколько иным образом выглядит пространственно-возрастная структура ценопопуляций подроста сосны обыкновенной и сосны крымской, приуроченных к линейным контурам лесных массивов. Примером влияния линейного контура лесного массива на процессы естественного возобновления являются ценопопуляции подроста сосны, сформировавшиеся на землях, выведенных из-под сельскохозяйственного пользования. Подрост сосны в пространстве таких объектов представлен сплошными лентами, примыкающими к стенам лесных насаждений. Наличие зон с повышенной плотностью растений, расположенных в непосредственной близости к лесному массиву и последующее закономерное снижение плотности ценопопуляции по удалении от стены леса является характерной чертой её пространственной структуры. Варьирование плотности растений в границах пространства возобновления достаточно хорошо прослеживается на 100-метровом удалении от стены леса. Сравнительно высокая плотность размещения растений и смыкание кронового пространства подроста сохраняется на расстоянии до двух средних высот материнского насаждения, в 50-метровой зоне пространства возобновления. С увеличением указанного расстояния наблюдается постепенное снижение густоты подроста, появляются поляны и прогалины (табл. 3).

Таблица 3

Биометрическая оценка подроста сосны, приуроченной к линейным контурам материнских насаждений *Pinus sylvestris* L., *Pinus pallasiiana* D. Don

Объект Зона	Удаление от стены леса, м	Количество подроста тыс. шт./га	Диаметр на высоте груди, см	Высота растения , см	Возраст, лет
<u>НП «Смоленское Поозерье»</u> Хвойно-широколиственная	до 50	4,9 – 10,0	2,3 ± 0,29	1,8 ± 0,09	7,4 ± 0,09
	50 – 100	3,8 – 8,0	2,8 ± 0,28	1,8 ± 0,08	7,4 ± 0,09
	100 и более	2,4 – 7,2	2,5 ± 0,24	2,1 ± 0,09	7,6 ± 0,09
<u>НП «Орловское Полесье»</u> Широколиственных лесов и Лесостепная	до 50	10,8 – 13,6	2,1 ± 0,25	2,4 ± 0,08	7,9 ± 0,10
	50 – 100	5,2 – 4,3	3,5 ± 0,32	2,8 ± 0,14	7,9 ± 0,11
	100 и более	1,7 – 4,6	4,3 ± 0,37	2,8 ± 0,18	7,9 ± 0,08
<u>Скрипаёвское лесничество</u> Лесостепная	до 50	7,6 – 14,5	2,0 ± 0,17	2,4 ± 0,05	9,1 ± 0,08
	50 – 100	1,3 – 4,0	3,6 ± 0,28	1,7 ± 0,34	8,6 ± 0,38
<u>Северодонецкое лесничество</u> Степная	до 50	8,3 – 18,5	1,9 ± 0,07	2,3 ± 0,12	9,1 ± 0,07
	50 – 100	1,8 – 3,4	4,5 ± 0,24	3,4 ± 0,12	8,8 ± 0,19
	100 и более	0,8 – 1,6	4,8 ± 0,26	3,2 ± 0,16	8,9 ± 0,07
<u>Новоклёновское лесничество</u> Предгорная лесостепная	до 50	4,1 – 8,5	7,2 ± 0,61	5,3 ± 0,42	19,7 ± 0,29
	50 – 100	3,3 – 5,4	6,9 ± 0,76	5,0 ± 0,54	19,1 ± 0,49
	100 и более	0,7 – 1,4	8,5 ± 0,75	6,4 ± 0,71	20,7 ± 0,42
<u>Солнечногорское лесничество</u> Горно-лесная	до 50	17,6 – 28,0	3,6 ± 0,21	3,8 ± 0,21	16,9 ± 0,17
	50 – 100	4,1 – 6,0	4,9 ± 0,35	3,7 ± 0,18	16,5 ± 0,16
	100 и более	2,8 – 4,1	6,1 ± 0,51	3,5 ± 0,17	15,4 ± 0,33
<u>Запрудненское лесничество</u> Горно-лесная	до 50	6,0 – 7,1	2,6 ± 0,38	1,4 ± 0,10	12,2 ± 0,39
	50 – 100	5,3 – 8,5	2,9 ± 0,55	1,1 ± 0,11	11,1 ± 0,47
	100 и более	0,2 – 3,5	3,3 ± 0,83	1,0 ± 0,13	10,9 ± 1,10

Последовательные смены плотности стояния растений и сомкнутости кронового пространства, а также варьирование площади питания подроста в границах существующих растительных группировок оказывают заметное влияние на изменение комплекса биометрических показателей ценопопуляции и её фрагментов (см. табл. 3).

Синхронное изменение пространственного рисунка ценопопуляции и варьирование биометрических показателей подроста позволяет выделить, по меньшей мере, три хорошо различимых функциональных зоны в рамках существующих полей возобновления. Первая – зона повышенной густоты, где преобладают внутривидовые процессы, межвидовые взаимодействия сведены к минимуму или отсутствуют. Подрост сосны имеет сравнительно низкие средние биометрические показатели. В пределах следующей зоны плотность стояния растений несколько ниже. Это переходная зона, в границах которой сомкнутое кроновое пространство сосны перемежается наличием прогалин и полей, вследствие чего формируется своеобразный популяционный узор пространства возобновления. В границах указанной зоны прослеживается сочетание внутри и межвидового влияния, и взаимодействия растений (рис. 1).

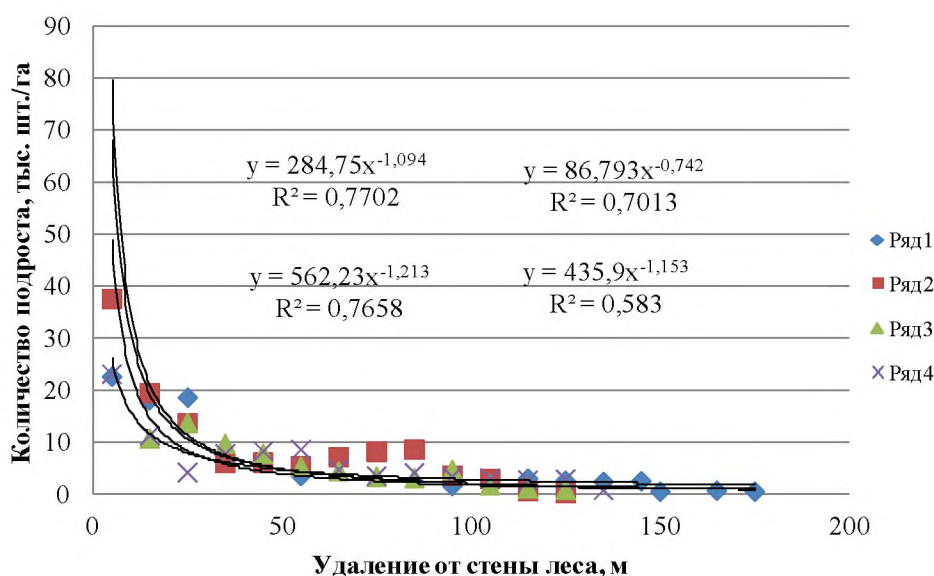


Рис. 1 Варьирование плотности полей ценопопуляций подроста с удалением от стен линейных контуров лесных массивов: *ряд 1* – Боровая терраса Северского Донца, степная зона (Северодонецкое лесничество); *ряд 2* – Горнолесной Крым (Запрудненское лесничество); *ряд 3* – зона широколиственных лесов (НП «Орловское Полесье», Тургеневское лесничество); *ряд 4* – Предгорный лесостепной Крым (Новокленовское лесничество)

Средние биометрические показатели подроста здесь заметно выше, чем в предыдущем случае. За переходной следует зона диффузной конкуренции, для которой характерно резкое снижение густоты растений и отсутствие сомкнутости крон подроста. В пространстве третьей структурно-функциональной зоны преобладает межвидовое взаимодействие растений, внутривидовое влияние сведено к минимуму. Несмотря на то, что площадь питания подроста увеличивается и, как правило, исключена внутривидовая конкуренция, в границах указанной зоны наблюдается тенденция снижения средней высоты и прироста верхушечной оси. В зависимости от конкретных условий, например, особенностей плодоношения материнских насаждений, субстрата для прорастания семян и укоренения всходов, уровня конкуренции со стороны растений экологических аналогов возможно

варьирование линейных параметров или же смещение установленных зон вдоль линейного контура лесного массива (рис. 2).

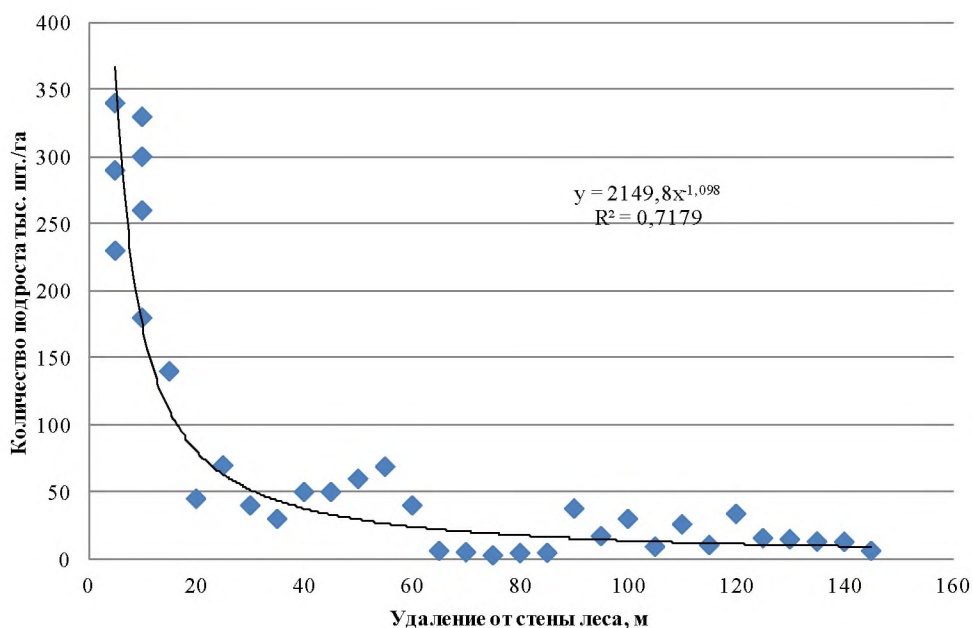


Рис. 2 Варьирование плотности полей ценопопуляций подроста с удалением от сохранившихся стен леса *Pinus pallasiana* D. Don на горельниках Ялтинского горнолесного заповедника

Дальнейший анализ пространственно-возрастной структуры ценопопуляций подроста сосны обыкновенной и сосны крымской на горельниках позволил подтвердить положение о схожести элементов пространственной структуры ценопопуляций. Основные закономерности формирования популяционного рисунка очень близки к установленным нами ранее для предыдущей серии объектов (см. рис. 1, 2).

Однако, на фоне монотонного снижения густоты подроста на горельниках с удалением от стен леса нами были зафиксированы всплески повышения плотности растительных группировок. В качестве подтверждения приведён фрагмент биометрической оценки ценопопуляций подроста сосны на горельнике Ялтинского горнолесного заповедника по данным наблюдений 2018 г. (табл. 4).

Таблица 4

Биометрическая оценка высоты подроста сосны крымской на разном удалении от стен материнских насаждений

Показатель	Высота подроста по вариантам опыта				
	1	2	3	4	1 – 4
до 50 метров					
Среднее значение	108,9 ± 2,92	102,0 ± 3,13	110,2 ± 3,63	137,8 ± 3,09	108,9 ± 1,80
Кол-во, тыс. шт./га	17,0	10,4	20,1	16,4	16,0
от 50 до 100 метров					
Среднее значение	158,0 ± 6,28	183,5 ± 8,60	197,1 ± 9,07	161,7 ± 8,46	171,8 ± 4,12
Кол-во, тыс. шт./га	6,10	5,10	2,80	4,60	4,70
свыше 100 метров					
Среднее значение	174,9 ± 3,19	182,1 ± 4,47	158,5 ± 4,07	151,3 ± 6,12	168,3 ± 1,85
Кол-во, тыс. шт./га	17,1	9,3	10,6	15,6	12,8

Появление максимумов численности подроста отчётливо просматривается за пределами 100-метровой зоны от стены материнского насаждения, при этом варьирование биометрических показателей растений согласовано с плотностью растительных группировок. Фрагменты ценопопуляций подроста, в границах которых заметно увеличивается густота растений, встречаются не случайно, их появление объяснимо особенностями пространственной матрицы горельника и обеспеченностью семенным материалом. Известно, что в условиях верхового, а тем более переходного типа лесного пожара часть деревьев и куртин остаётся неповреждённой огнём. Последующее формирование зон инспермации и появление жизнеспособных биогрупп подроста на территории горельников обусловлено плодоношением сохранившихся во время пожара куртин и одиночных деревьев сосны. Впервые указанная закономерность размещения подроста и в частности присутствие густых биогрупп, расположенных на значительном удалении от стен леса была зафиксирована нами для пристепных боров Северского Донца (табл. 5).

Таблица 5

Биометрическая оценка подроста сосны обыкновенной на горельниках пристепных боров боровой террасы реки Северского Донца

Плотность растений в биогруппах	Количество, тыс. шт/га	Диаметр, см	Высота, см	Прирост, см
Плотная	11,0 – 14,3	$2,8 \pm 0,13$	$3,2 \pm 0,14$	$28,0 \pm 2,18$
Уплотнённая	3,5 – 7,4	$4,6 \pm 0,13$	$4,3 \pm 0,21$	$40,7 \pm 2,68$
Редкая	0,5 – 1,1	$3,8 \pm 0,23$	$2,9 \pm 0,09$	$47,2 \pm 4,07$

Пространственная структура биогрупп, прежде всего, закономерное варьирование густоты и биометрических показателей растений, подобна установленной нами ранее для объектов с наличием замкнутого и линейного контуров материнских насаждений. Характерной особенностью растений уплотнённых фрагментов растительных группировок является их сравнительно успешный рост. Как правило, в первое десятилетие существования ценопопуляций подроста проявляется эффект биогруппы, когда средняя высота, текущий и средний прирост верхушечной оси подроста в уплотнённых растительных группировках заметно превышает аналогичные показатели, установленные нами для редких биогрупп [2, 11]. По мнению исследователей, указанный эффект обусловлен формированием внутренней среды растительной группировки, где создаются оптимальные условия для реализации генетического и популяционного потенциала вида, что в полной мере согласуется с мнением исследователей [2].

Подобие пространственной структуры ценопопуляций подроста и субценопопуляционных фрагментов является основанием для предположения о схожести процессов возобновления *P. sylvestris* и *P. pallasiana* в рамках меняющихся экологических условий. Заметные отличия вызваны масштабами наблюдаемых объектов, что, по сути, можно отнести к иерархичности и соподчинённости организации процесса возобновления в пространстве и времени. Так, например, при прочих равных условиях в одном случае масштаб и структура объекта будет зависеть от особенностей формирования замкнутого контура «окна» в пологе древостоя, в другом от протяжённости линейного контура, структуры и состава материнского насаждения, в третьем от структуры матрицы горельника и наличия семенных деревьев и куртин сосны и т. д. Неизменность и однотипность структуры ценопопуляций и составляющих элементов является аргументом в пользу предположения фрактальной природы процессов естественного возобновления, позволяющей объяснить механизмы

устойчивости лесных экосистем [9]. Выявленная инвариантность структуры ценопопуляций и субценопопуляционных фрагментов не отрицает динамику внутри и межпопуляционных процессов, свойственных ценопопуляции и её фрагментам. Подтверждением данному предположению являются процессы авторегуляции структуры ценопопуляций подроста синхронные изменению ёмкости экологических ниш. Неслучайны и неизбежны структурные изменения, которые можно наблюдать в случае распада субценопопуляционных фрагментов. В лесоводстве и экологии массовый отпад самосева и подроста сосны, приуроченного к подкроновому пространству материнских насаждений известен как процесс затухания волны возобновления.

Подобие пространственной структуры ценопопуляций подроста *P. sylvestris* и *P. pallasiana*, масштабная инвариантность рассматриваемого явления позволяют объяснить сходство структурно-функциональных особенностей процесса возобновления видов рода *Pinus*. Различия в масштабах рассматриваемого явления в каждом конкретном случае обусловлены комплексом действующих экологических факторов, в том числе природного и антропогенного происхождения, комплементарностью биоэкологических свойств подроста широте диапазона существующих экологических ниш.

Выводы

Результаты исследований процессов естественного возобновления *P. sylvestris* и *P. pallasiana*, выполненные нами на территории южной покатости Русской равнины и в горнолесном Крыму позволяют утверждать, что во всех наблюдаемых случаях процессам естественного возобновления сосняков присуще подобие пространственной структуры ценопопуляций и субценопопуляционных фрагментов. Структура биогрупп и ценопопуляций подроста сосны однотипна, но разномасштабна в пространстве наблюдаемых объектов. Разномасштабная инвариантность структуры ценопопуляций подроста объяснима комплементарностью биоэкологических свойств самосева и подроста ёмкости экологических ниш и авторегуляцией структуры ценопопуляции в соответствии с динамикой экологических факторов, в той или иной мере лимитирующих процессы естественного возобновления сосняков.

Установленное подобие структуры процесса естественного возобновления видов рода *Pinus* (*P. sylvestris* и *P. pallasiana*) имеет теоретическое и практическое значение. Типичность структуры ценопопуляций, а также составляющих её элементов является аргументом в пользу предположения фрактальной природы процессов естественного возобновления, позволяющей объяснить механизмы и тенденции устойчивости лесных экосистем в соответствии с принципом инвариантности рассматриваемого процесса.

Особенности пространственной структуры жизнеспособных ценопопуляций подроста видов рода *Pinus* служат основанием для совершенствования мероприятий по лесовосстановлению, прежде всего, технологических процессов по созданию лесных культур, а также использованию процессов естественного возобновления при восстановлении коренных сосняков.

Список литературы

1. Восточноевропейские леса: история в голоцене и современность. Кн. 1. / отв. ред. О.В. Смирнова. – М.: Наука, 2004. – 479 с.
2. Гончар М.Т. О влиянии группового произрастания соснового подроста на условия микросреды // Зап. ХСХИ. – 1957. – Т. XVI. – С. 135-150.
3. Грейг-Смит П. Количественная экология растений – М.: Мир. 1967. – 358 с.

4. Джиллер П. Структура сообществ и экологическая ниша: [монография] – М.: Мир, 1988. – 184 с.
5. Злобин Ю.А. Оценка качества ценопопуляций подроста древесных пород // Лесоведение. – 1976. – № 6. – С. 72-79.
6. Коба В.П. Возобновление сосны Палласа на горельниках в горном Крыму // Лесоведение. – 2016. – № 4. – С. 270-278.
7. Коба В.П. Особенности восстановления древостоев сосны крымской в постпирогенный период // Экосистемы. – 2017. – Вып. 11. – С. 10-13.
8. Малиновских А.А. Динамика естественного возобновления сосны обыкновенной на гари 1977 года в Сrostинском Бору // Вестник Алтайского аграрного университета – 2017. – №5 (151). – С. 76-82.
9. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы – М.: Институт компьютерных исследований, 2002. – 656 с.
10. Пятницкий С.С. Методика исследований естественного семенного возобновления в лесах левобережной Лесостепи Украины – Х., 1959. – С. 18-26.
11. Салтыков А.Н. Структурно-функциональные особенности естественного возобновления придонских боров. – Симферополь: ИТ «Ариал» – 2019. – 361 с.
12. Санников С.Н. Экология естественного возобновления сосны под пологом леса. – М.: Наука, 1985. – 152 с.
13. Санников С.Н. Естественное возобновление сосны на гарях в лесостепи Западной Сибири // Сибирский лесной журнал – 2019. – №5. – С. 22-29.
14. Санников С.Н. Система рубок и возобновление сосновых лесов на эколого-географической основе // Сибирский лесной журнал. – 2015. – №6. – С. 3-16.
15. Фролова Г.Г. Анализ факторов влияния на возобновление основных лесобразующих пород в сосновых лесах южного Подмосковья // Вопросы лесной науки. – 2019. – №4. – С. 22-29.

Статья поступила в редакцию 11.11.2021 г.

Saltykov A.N. Systemic integrity and similarity of the spatial and age structure of the undergrowth of Scots pine and Crimean pine // Bull. Of the State Nikita Botan. Gard. – 2021. – № 141. – P. 44-54

Studies of the natural reforestation of pine forests (*Pinus silvestris*. L.) on the territory of the southern brae of the Russian Plain, as well as the foothill and mountain-forest Crimea (*Pinus pallasiana* D. Don), carried out by us during 2003 – 2021, allowed us to put forward an assumption about the general features of the spatial structure of the undergrowth of species of the genus *Pinus*.

The uniformity of the structure of coenopopulation fragments and coenopopulation of undergrowth can be equally observed in different ecological conditions, for example, under the forest canopy, as well as within the boundaries of existing breaks in the canopy of forestry shelterwood, on burnt forests along the linear contours of forest tracts, on lands taken out from under agricultural use, etc. In each specific case, the invariance and, at the same time, the different scale of the structure of coenopopulations of undergrowth is explained by the complementarity of bioecological properties of seedling growth and undergrowth capacity of existing ecological niches, autoregulation of the cenopopulation structure in accordance with the dynamics of changes in ecological factors limiting the process of natural renewal of pine forests.

Similarity of the spatial structure of coenopopulations of *P. silvestris* undergrowth, and *P. pallasiana* and its constituent elements is an argument in favour of the assumption of the fractal nature of the process, which makes it possible to explain the mechanisms of stability of forest ecosystems in accordance with the principle of invariance of the spatial structure of the formed coenopopulations. The established structural and functional features serve as the basis for deepening the theory of natural regeneration and improving the complex of reforestation measures aimed at preserving biological diversity and forest sustainability with the dominance of species of the genus *Pinus*.

Key words: pine; natural regeneration; undergrowth; biogroup, cenopopulation; ecosystem