

ЛЕСОВЕДЕНИЕ, ЛЕСОВОДСТВО, ЛЕСНЫЕ КУЛЬТУРЫ, АГРОЛЕСОМЕЛИОРАЦИЯ, ОЗЕЛЕНЕНИЕ,
ЛЕСНАЯ ПИРОЛОГИЯ И ТАКСАЦИЯ / FORESTRY, FORESTRY, FOREST CROPS, AGROFORESTRY,
LANDSCAPING, FOREST PYROLOGY AND TAXATION

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.54.13>

АНАЛИЗ ПОДРОСТА СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS*) В РАЗЛИЧНЫХ ТИПАХ ЛЕСА

Научная статья

Данченко М.А.^{1,*}, Кабанов М.Н.², Сперанский Н.И.³, Кабанов А.Н.⁴

¹ORCID : 0000-0002-5974-9556;

²ORCID : 0000-0003-1885-5050;

³ORCID : 0009-0000-7098-2626;

⁴ORCID : 0000-0002-3199-543X;

^{1,2,3}Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Российская Федерация

⁴Государственный национальный природный парк «Бурабай», Бурабай, Казахстан

* Корреспондирующий автор (mtd2005[at]yandex.ru)

Аннотация

Статья посвящена анализу состояния подроста сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) в различных типах леса с учетом адаптации его к изменяющимся факторам окружающей среды. Цель данной работы – установить закономерности и различия в развитии молодых сосен в зависимости от условий произрастания. Объектами исследований являлись сосновые леса Казахского мелкосопочника. Наблюдения проводились на постоянных пробных площадях по общепринятым методикам. Учитывалось число подроста с разделением его на жизнеспособные и нежизнеспособные деревья. Полученные результаты свидетельствуют о том, что рост и развитие подроста сосны обыкновенной сильно варьируют в зависимости от типа леса и по годам наблюдений. Эти колебания обусловлены различными факторами, основными из которых являются погодные условия в год наблюдений, наличие семян и воздействие вредителей и болезней. Выявлено, что влажность почвы является одним из ключевых моментов, определяющих жизнеспособность, количество и высоту подроста. В более влажных условиях растения имеют больше возможностей для роста и развития. В свежем типе леса подрост сосны обыкновенной имеет более развитые растения по высоте, при этом наблюдалась их низкая жизнеспособность. В сухих и очень сухих лесах преобладают низкорослые растения и наибольшая доля угнетенных сеянцев в связи с недостаточным увлажнением почвы. Оценка жизнеспособности подроста с помощью коэффициента качества в зависимости от типа леса и полноты показала, что его величина не превышает 0,15, что говорит о неблагоприятном сценарии естественного возобновления сосновых насаждений.

Ключевые слова: сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*), естественное лесовозобновление, сеянцы, тип леса, подрост.

ANALYSIS OF SCOTS PINE (*PINUS SYLVESTRIS*) UNDERGROWTH IN DIFFERENT FOREST TYPES

Research article

Danchenko M.A.^{1,*}, Kabanov M.N.², Speranskii N.I.³, Kabanov A.N.⁴

¹ORCID : 0000-0002-5974-9556;

²ORCID : 0000-0003-1885-5050;

³ORCID : 0009-0000-7098-2626;

⁴ORCID : 0000-0002-3199-543X;

^{1,2,3}Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation

⁴Burabay State National Nature Park, Burabay, Kazakhstan

* Corresponding author (mtd2005[at]yandex.ru)

Abstract

The article is dedicated to the analysis of the condition of the undergrowth of Scots pine (*Pinus sylvestris*) in different forest types, taking into account its adaptation to changing environmental factors. The aim of this work is to establish regularities and differences in the development of young pines depending on the growing conditions. The objects of research were pine forests of the Kazakh shallow hilly area. Observations were carried out on permanent sample plots according to generally accepted methods. The number of undergrowth with its division into viable and non-viable trees was taken into account. The results obtained indicate that the growth and development of the undergrowth of common pine varies greatly depending on the forest type and on the years of observation. These variations are due to various factors, the main ones being weather conditions in the year of observation, seed availability and the impact of pests and diseases. Soil moisture was found to be one of the key determinants of undergrowth viability, number and height. In wetter conditions, plants have more opportunities for growth and development. In the fresh forest type, Scots pine undergrowth has more developed plants in terms of height, while low viability was observed. In dry and very dry forests, low-growing plants and the highest proportion of depressed seedlings prevail due to insufficient soil moisture. Assessment of undergrowth viability using the quality coefficient depending on forest type and completeness showed that its value does not exceed 0.15, which indicates an unfavourable scenario of natural regeneration of pine stands.

Keywords: Scots pine (*Pinus sylvestris*), natural regeneration, seedlings, forest type, undergrowth.

Введение

Актуальность темы обусловлена необходимостью повышения продуктивности при использовании естественного возобновления в древостоях. Глобальное изменение климата может привести к деградации бореальных лесов, которые имеют высокую биологическую продуктивность, биомассу и биоразнообразие, являясь одними из самых сложных наземных экосистем. Без проведения исследований и изучения лесных насаждений и их естественного возобновления, невозможно эффективно увеличить продуктивность древостоев. Способность леса к естественному возобновлению зависит от биологических и экологических особенностей древесных видов и множества других факторов [12], [15].

Также не стоит забывать, что образование лесных насаждений приводит к формированию других компонентов леса, которые присущи конкретным условиям места произрастания данного древостоя. Образование насаждений вносит в лес новые компоненты, такие как подлесок, бактериальная флора и фауна, которые характерны только для конкретного древостоя. Разнообразие деревьев определяет разнообразие таксономической и функциональной структуры грибкового сообщества в лесной подстилке, которое, в свою очередь, играет важную регуляторную роль в функционировании наземных экосистем. Таким образом, возобновление насаждений можно воспринимать, как восстановление всего лесного сообщества в целом [6], [16].

Анализ процессов восстановления биогеоценозов, лесных сообществ и экосистем связано с пониманием факторов, способных оказывать значительное влияние на прирост сосны. Радиальный прирост сосны обыкновенной синхронно колеблется из-за многолетних изменений в солнечной активности, температуре и осадках [5], [11].

Современные исследования показывают, что на радиальный прирост хвойных деревьев сильное воздействие оказывают различные факторы, такие как климат, рельеф, тип леса, наличие вредителей и болезней [3].

Интенсивность прорезживания подлеска также способна оказывать влияние на естественное восстановление в зависимости от различных факторов: щелочногидролизруемость почвы, индекс регенерации древостоя, насыпная плотность почвы, травянистый покров, органическое вещество почвы, толщина слоя неразложившейся подстилки и др. Органические вещества почвы способствуют восстановлению древостоя, обеспечивая достаточное содержание воды, низкое содержание фосфора и высокое содержание азота. Избыточный свет, травянистый растительный покров и слишком густая подстилка напротив, не способствуют восстановлению [4], [13].

Целью работы является сравнение насаждений сосны обыкновенной в разных лесных типах леса для выявления закономерностей и различий в их развитии. Исследование посвящено изучению влияния различных экологических условий на рост и состояние подростка сосны обыкновенной.

Методы и принципы исследования

Объектами исследований являлись сосновые леса Казахского мелкосопочника, представлены результаты исследований за прошедшие 5 лет. Основным методом сбора экспериментальных данных являлось полевое обследование насаждений на постоянных пробных площадях, которые закладывались по стандартным методикам [7], [9], [10].

В каждом типе леса закладывалось по 6 пробных площадей, на которых производилось лесоводственно-геоботаническое описание, с указанием особенностей древостоя, подростка, подлеска, напочвенного покрова и рельефа. Затем проводился сплошной перебор подростка по высоте с разделением их по ступеням высоты (всходы и однолетние сеянцы учитывались отдельно). Подрост учитывался с разделением его на 6 высотных групп: до 10 см; 11-25 см; 25-50 см; 50-100 см; 101-150 см; 151 и более см. Отдельно учитывалось число всходов и однолетних сеянцев, как наиболее уязвимых для неблагоприятных факторов среды и склонных к массовым выпадкам.

Данные перебора обрабатывались статистическими методами, для этого брались усредненные количественные показатели подростка по всем пробным площадям. На основании данных индивидуального перебора подростка под пологом леса производилась оценка возобновления леса [1], [2], [14].

Определялись следующие показатели:

- число подростка по каждой породе по категориям крупности на пробных площадях и в пересчете на 1 га;
- количество здорового (жизнеспособного) и угнетенного (нежизнеспособного) подростка;
- доля здорового подростка в процентах от его общего числа.

Учитывался в основном подрост хвойных пород. По качественным признакам подрост учитывался с разделением его на две категории: жизнеспособный и нежизнеспособный. Жизнеспособный подрост имел густое охвоение, выраженную мутовчатость, островершинную или конусообразную симметричную крону протяженностью не менее 1/3 ствола с неутраченным приростом по высоте за последние 3-5 лет, прямой неповрежденный ствол. Нежизнеспособный (угнетенный) подрост имел признаки неудовлетворительного качества. Учитывались механические повреждения и признаки заболеваний или повреждения вредителями. Оценка успешности возобновления проводилась в соответствии с нормативами таксации КазНИИЛХА [8].

Процент жизнеспособности подростка определялся по формуле:

$$P = n/N \times 100 \quad (1)$$

где:

P – процент жизнеспособного подростка, %;

n – число здорового подростка, шт; N – общее количество подростка, шт.

Достоверно оценить жизнеспособность подростка можно при помощи коэффициента качества подростка по формуле:

$$K_k = (n \times V)/(N \times V) \quad (2)$$

где:

K_k – коэффициента качества подростка;

n – число жизнеспособного подроста главной породы на 1 га, шт;

V – средний возраст подроста, лет;

N – общее число подроста на 1 га, шт;

v – базисный возраст смыкания полога (7-8 лет).

При $K_d=0,7$ и выше подрост по жизнеспособности очень хороший, при 0,5-0,6 – хороший, 0,3-0,4 – удовлетворительный, 0,2 и ниже – неудовлетворительный.

Основными положениями, определяющими процесс данного исследования, являются: принцип конкретности, который заключается в установлении различных типов лесов и выбор конкретных участков для анализа, а также принцип системности, предполагающий рассмотрение объекта изучения как сложноорганизованной системы, включающей в себя совокупность почвенно-климатических условий и эколого-биологических факторов произрастания сосны обыкновенной.

Основные результаты

Недостаточность естественного возобновления подтверждается анализом многолетних наблюдений и материалами лесоустройства, из которых видно, что в древостоях старшего возраста не прогнозируется возможность естественного зарастания лесов. В сосновых лесах только в свежих условиях возможно незначительное естественное возобновление, т.к. всего 3,2% площади обеспечено благонадежным подростом. В среднем обеспеченность подростом в сосновых насаждениях составляет 0,9%. В березовых древостоях хуже всего обстоят дела с возобновлением в коренных сырых и мокрых типах леса, в которых на 0,6-3,5% площади лесов имеется подрост, в среднем по всей площади березняков – 1,6%. Осиновые леса не обеспечены подростом вообще.

Число подроста в каждом типе леса подвержено значительным колебаниям от года к году, что связано с погодными условиями, наличием семян, воздействием вредителей и болезней. Однако четкой зависимости между типом леса и количеством подроста не прослеживается.

Из рисунка 1 видно, что очень сухие условия произрастания (С1) характеризуются значительными колебаниями количества подроста по годам. Наблюдаются как периоды высокой численности (2022 г.), так и периоды резкого снижения числа подроста (2023 г.). В остальные годы всходов и подроста было значительно меньше.

Сухие условия произрастания (С2) демонстрируют более стабильную динамику по сравнению с очень сухими лесами. Однако численность естественного возобновления сосны обыкновенной в сухих условиях существенно варьирует по годам, что свидетельствует о высокой зависимости от климатических условий и других факторов среды. Наиболее благоприятными для возобновления сосны были 2019 и 2022 годы, когда наблюдалось максимальное количество всходов и сеянцев. Вероятно, в эти годы сложились оптимальные условия для прорастания семян и развития молодых растений (достаточное количество осадков, умеренные температуры, отсутствие сильных заморозков). Но следует отметить, что в сухих условиях число угнетенного подроста было больше, чем жизнеспособного. Это может быть связано с конкуренцией за ресурсы, такими как вода и свет между молодыми и взрослыми деревьями.

В отличие от сухих условий, в свежем типе леса наблюдается более стабильная динамика численности естественного возобновления сосны обыкновенной по годам. Отсутствуют резкие пики и спады, характерные для других типов леса. Несмотря на некоторые колебания, общая тенденция к увеличению или уменьшению численности возобновления не прослеживается. Самая высокая численность всходов и сеянцев была зафиксирована в 2022 году. Это может свидетельствовать о благоприятных погодных условиях и других факторов среды в этот год, способствующих успешному возобновлению. Возможные причины стабильности возобновления в свежем типе леса заключаются в более благоприятных факторах увлажнения и почвенных условиях, что влияет на меньшую зависимость возникновения и роста подроста от климатических колебаний. Но хотя свежий тип леса наиболее благоприятен для естественного возобновления, он характеризуется слабым уровнем числа и сохранности подроста в течение всего периода наблюдения. Среднее число подроста составило всего 630 шт/га, что значительно меньше, чем в сухом сосняке.

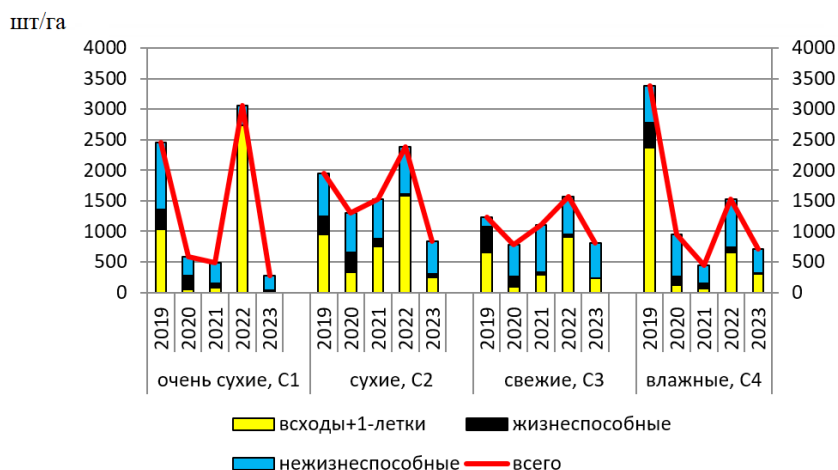


Рисунок 1 - Распределение количества подроста по типам леса

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.54.13.1>

Всходы и однолетние сеянцы сосны обыкновенной доминируют в общей численности, что свидетельствует о постоянном процессе возобновления, но с течением времени их количество значительно уменьшается. Доля нежизнеспособных растений значительна, особенно в годы с неблагоприятными климатическими условиями.

В таблице 1 приведен процент здоровых (жизнеспособных) и угнетенных растений без учета количества всходов и однолетних сеянцев. Представленные данные свидетельствуют о крайне низкой жизнеспособности естественного возобновления в исследованных типах леса. Доля здоровых деревьев не превышает 21,7%, при этом подавляющее большинство (78,3–80,2%) находится в угнетенном состоянии.

Таблица 1 - Количество подроста сосны обыкновенной в зависимости от состояния и его доля от общего числа в зависимости от условий произрастания

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.54.13.2>

Тип леса	Всего, шт/га	Всходы+1-летки	Состояние		Доля всходов и 1-леток, %	Доля подроста без учета всходов и 1-летних сеянцев, %	
			жизнеспособные, шт/га	нежизнеспособные, шт/га		жизнеспособные	нежизнеспособные
очень сухие, C1	6846	3928	634	2285	57,3	21,7	78,3
сухие, C2	7996	3869	819	3308	48,3	19,8	80,2
свежие, C3	5503	2172	685	2645	39,4	20,6	79,4
влажные, C4	7010	3507	729	2773	50,0	20,8	79,2

В целом, доля всходов и однолетних сеянцев от общей численности возобновления достаточно велика (от 39,4 до 57,3%). Следовательно, семена сосны обыкновенной обладают хорошей всхожестью, а однолетние растения имеют достаточную жизнеспособность для выживания. Но с течением времени, особенно в годы с недостаточным увлажнением наблюдается значительное снижение численности возобновления, особенно за счет увеличения доли угнетенных растений. Это свидетельствует о высокой чувствительности молодых сосен к дефициту влаги.

На рисунке 2 показаны данные о распределении жизнеспособного подроста по высоте, которое существенно зависит от типа леса. Видно, что в более влажных условиях преобладает более высокий подрост, в то время как в сухих и очень сухих лесах – низкорослые растения.

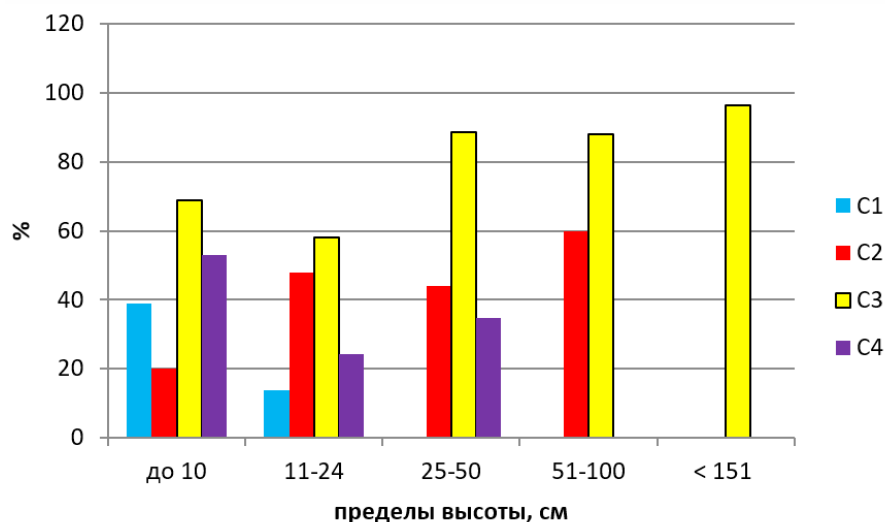


Рисунок 2 - Доля жизнеспособного подроста сосны обыкновенной и градация его по высоте в зависимости от типа леса

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.54.13.3>

В очень сухих лесах основная часть подроста имеет высоту в пределах 10 см, 13% от общего числа подроста имеют высоту до 24 см. Более высоких молодых растений в очень сухом типе леса не обнаружено, на что влияет затрудненные условия роста. В сухих лесах наблюдается более разнообразное распределение подроста по высоте. Хотя низкорослый подрост также преобладает, есть значительная доля растений средней высоты (25-50 см) и даже высоких (51-100 см). Это указывает на то, что в этих условиях часть растений может успешно конкурировать и достигать более значительных размеров. В свежем типе леса наблюдается наибольшее разнообразие по высоте подроста. Преобладает подрост от 25 до 150 см и больше. Во влажном типе леса преобладают низкорослые растения в основном до 10 см и отсутствуют подрост от 50 см и выше. Это может быть связано с такими факторами, как конкуренция с травянистой растительностью или специфическими почвенными условиями.

Обсуждение

Численность естественного возобновления сосны обыкновенной во влажном типе леса демонстрирует значительные колебания от года к году и схожую с сухими лесами динамику, с некоторыми пиками численности. Это говорит о сильной зависимости процесса возобновления от внешних факторов, таких как климатические условия, почвенные особенности и биотические факторы. Наибольшее количество всходов и семян наблюдалось в 2019 и 2022 годах. Наличие угнетенных семян указывает на то, что даже во влажных условиях на молодые растения оказывают влияние различные стрессовые факторы, такие как конкуренция с другими растениями, болезни и вредители.

Во всех типах леса колебания численности возобновления тесно связаны с климатическими условиями. В годы с неблагоприятными погодными условиями наблюдается снижение численности возобновления. Влияние типа леса на состояние семян можно охарактеризовать так, что в сухом типе леса наблюдается наибольшая доля угнетенных семян, что связано с дефицитом влаги. В свежем и влажном типах леса доля угнетенных семян ниже, что свидетельствует о более благоприятных условиях для их роста и развития.

Результаты оценки жизнеспособности подроста сосны обыкновенной с помощью коэффициента качества в зависимости от типа лесорастительных условий и показателей полноты насаждений показали, что величина данного коэффициента не превышает 0,15, что позволяет констатировать неблагоприятный прогноз естественного возобновления сосновых фитоценозов.

Заключение

Влажность почвы является одним из ключевых факторов, определяющих высоту подроста. В более влажных условиях растения имеют больше возможностей для роста и развития. Конкуренция с другими растениями, особенно с травянистым покровом, может ограничивать рост подроста, особенно в сухих условиях. На высоту подроста также могут влиять такие факторы, как тип почвы, освещенность, наличие повреждений вредителями и болезнями.

Доля всходов и однолетних семян сосны обыкновенной от общей численности возобновления достаточно велика (от 39,4 до 57,3%). Это говорит о том, что они имеют достаточную жизнеспособность для выживания. Но с течением времени, особенно в годы с недостаточным увлажнением, наблюдается значительное снижение численности возобновления, особенно за счет увеличения доли угнетенных растений. Представленные данные свидетельствуют о крайне низкой жизнеспособности естественного возобновления в исследованных типах леса. Доля здоровых деревьев не превышает 21,7%, при этом подавляющее большинство (78,3-80,2%) находится в угнетенном состоянии.

В условиях свежего типа леса сосна обыкновенная имеет более развитые растения по высоте, но в ходе исследования наблюдалась низкая жизнеспособность подроста. В сухих и очень сухих лесах преобладают низкорослые растения и наблюдается наибольшая доля угнетенных семян, в связи с недостаточным увлажнением почвы.

Благодарности

Выражаем благодарность Архипову Е.В. за помощь в написании статьи.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Acknowledgement

We express our gratitude to Arkhipov E.V. for his help in writing the article.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Багинский В.Ф. Биометрия в лесном хозяйстве : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальностям «Лесное хозяйство», «Лесоинженерное дело», «Садово-парковое строительство» / В.Ф. Багинский, О.В. Лапицкая. — Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2010. — 374 с.
2. Бондаренко А.С. Статистическая обработка материалов лесоводственных исследований : учебное пособие / А.С. Бондаренко, А.В. Жигунов. — СПб. : Из-во Политехнического университета, 2016. — 125 с.
3. Бочаров А.Ю. Структура лесов и климатический отклик деревьев в зоне контакта «лес-степь» (Горный Алтай) / А.Ю. Бочаров, Д.А. Савчук // Журнал Сибирского федерального университета. Биология. — 2015. — № 4. — С. 54–68. DOI: 10.17516/1997-1389-2015-8-4-426-440.
4. Кабанова С.А. Динамика приживаемости лесобразующих пород зеленой зоны г. Астаны / С.А. Кабанова, М.А. Данченко, А.Г. Мясников // Проблемы региональной экологии. — 2012. — № 2. — С. 144–146.
5. Гурский А.А. Совершенствование методов оценки насаждений и ведения хозяйства в лесах Оренбургской области и Северного Казахстана : методическое пособие / А.А. Гурский, А.А. Гурский. — Оренбург : ОГАУ, 2011. — 404 с.
6. Екимова Д.В. Ход естественного возобновления в сосновых и еловых типах леса в Емцовском учебно-опытном лесхозе / Д.В. Екимова // Молодой ученый. — 2020. — № 24(314). — С. 137–139.
7. Злобин Ю.А. Оценка качества подростов древесных растений / Ю.А. Злобин // Лесоведение. — 1970. — № 3. — С. 96–102.
8. Нормативы для таксации лесов Казахстана : [Утв. Гослесхозом СССР 29.09.86]. — Алма-Ата : Кайнар, 1987. — 235 с.
9. Пробные площади лесоустроительные. Методы закладки. — Введ. 1984-01-01. — Москва : Гослесхоз, 1983. — 60 с.
10. Побединский А.В. Изучение лесовосстановительных процессов / А.В. Побединский. — Москва : Наука, 1966. — 64 с.
11. Симоненков В.С. Влияние климатического и биотического факторов на радиальный прирост сосны обыкновенной в очагах массового размножения сосновых пилильчиков / В.С. Симоненков, В.А. Симоненкова // Современные проблемы науки и образования. — 2014. — № 4. — С. 501.
12. Спринцын С.М. Оценка эффективности естественного возобновления сосны *Pinus halepensis* Mill. в Восточном Средиземноморье на примере Израиля / С.М. Спринцын, А.М. Фрадкин, М.С. Спринцын // Сибирский лесной журнал. — 2017. — № 2. — С. 3–12. DOI: 10.15372/SJFS20170201.
13. Данченко М.А. Эколого-экономические основы устойчивого лесопользования / М.А. Данченко, С.А. Кабанова. — Алматы : КазНИИЛХА, 2011. — 122 с.
14. Шорохова И.С. Статистические методы анализа / И.С. Шорохова, Н.В. Кисляк, О.С. Мариев. — Екатеринбург : Уральский федеральный университет, 2015. — 300 с.
15. Liu D. Quantitative Assessment of Climate Change Impacts on Forest Ecosystems / D. Liu, H. Yan, C.L. Yu // Forest Science. — 2021. — Vol. 3. — P. 40–47. DOI: 10.21203/rs.3.rs-913668/v1.
16. Xiao W. Tree Diversity Determines the Diversity of the Taxonomic and Functional Structure of the Fungal Community in Forest Litter in Southern China / W. Xiao, J. Zhao, X. Yan [et al.] // Forest Science. — 2023. — № 69(2). — P. 143–157. DOI: 10.1093/forsci/fxy037.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Baginskij V.F. Biometrija v lesnom hozjajstve [Biometrics in forestry] : a textbook for students of universities studying at the specialities 'Forestry', 'Forest Engineering', 'Garden and Park Construction' / V.F. Baginskij, O.V. Lapitskaja. — Gomel' : GGU im. F. Skoriny, 2010. — 374 p. [in Russian]
2. Bondarenko A.S. Statisticheskaja obrabotka materialov lesovodstvennyh issledovanij [Statistical processing of forestry research materials] : study guide / A.S. Bondarenko, A.V. Zhigunov. — SPb. : Iz-vo Politehnicheskogo universiteta, 2016. — 125 p. [in Russian]
3. Bocharov A.Ju. Struktura lesov i klimaticeskij otklik derev'ev v zone kontakta «les-step» (Gornyj Altaj) [Structure of Forests and Climatic Response of Trees in "Forest-Steppe" Contact Zone, the Altai Mountains] / A.Ju. Bocharov, D.A. Savchuk // Journal of Siberian Federal University. Biology. — 2015. — № 4. — P. 54–68. DOI: 10.17516/1997-1389-2015-8-4-426-440. [in Russian]

4. Kabanova S.A. Dinamika prizhivaemosti lesoobrazujuschih porod zelenoj zony g. Astany [The dynamics of rooting tree species of the green zone of Astana] / S.A. Kabanova, M.A. Danchenko, A.G. Mjasnikov // *Regional Environmental Issues*. — 2012. — № 2. — P. 144–146. [in Russian]
5. Gurskij A.Ak. Sovershenstvovanie metodov otsenki nasazhdenij i vedenija hozjajstva v lesah Orenburgskoj oblasti i Severnogo Kazahstana [Improving methods of plantation assessment and management in forests of Orenburg Oblast and Northern Kazakhstan] : Methodological manual: metodicheskoe posobie / A.Ak. Gurskij, A.An. Gurskij. — Orenburg : OGAU, 2011. — 404 p. [in Russian]
6. Ekimova D.V. Hod estestvennogo vozobnovlenija v sosnovyh i elovyh tipah lesa v Emtsovskom uchebno-opytnom leshoze [Progress of natural regeneration in pine and spruce forest types in the Emtsov experimental forestry enterprise] / D.V. Ekimova // *Young Scientist*. — 2020. — № 24(314). — P. 137–139. [in Russian]
7. Zlobin Ju.A. Otsenka kachestva podrosta drevesnyh rastenij [Quality assessment of woody plant undergrowth] / Ju.A. Zlobin // *Forest Management*. — 1970. — № 3. — P. 96–102. [in Russian]
8. Normativy dlya taksacii lesov Kazaxstana [Norms for forest taxation in Kazakhstan] : [Approved by Gosleskhoz of the USSR 29.09.86]. — Alma Ata : Kainar, 1987. — 235 p. [in Russian]
9. Probnye ploschadi lesoustroitel'nye. Metody zakladki [Sample areas of forest inventory. Methods of planting]. — Introduced 1984-01-01. — Moscow : Gosleshoz, 1983.— 60 p. [in Russian]
10. Pobedinskij A.V. Izuchenie lesovosstanovitel'nyh protsessov [Study of reforestation processes] / A.V. Pobedinskij. — Moscow : Nauka, 1966. — 64 p. [in Russian]
11. Simonenkov V.S. Vlijanie klimaticheskogo i bioticheskogo faktorov na radial'nyj prirost sosny obyknovnoj v ochagah massovogo razmnozenija sosnovyh pilil'schikov [The effects of climatic and biotic factors on radial growth pine in outbreak localities pine sawyer] / V.S. Simonenkov, V.A. Simonenkova // *Modern Problems of Science and Education*. — 2014. — № 4. — P. 501. [in Russian]
12. Sprintsyn S.M. Otsenka effektivnosti estestvennogo vozobnovlenija sosny Pinus halepensis Mill. v Vostochnom Sredizemnomor'e na primere Izrailja [Assessment of the efficiency of the aleppo pine Pinus halepensis Mill. natural regeneration in the Eastern Mediterranean on example of Israel] / S.M. Sprintsyn, A.M. Fradkin, M.S. Sprintsyn // *Siberian Journal of Forest Science*. — 2017. — № 2. — P. 3–12. DOI: 10.15372/SJFS20170201. [in Russian]
13. Danchenko M.A. Ekologo-ekonomicheskie osnovy ustojchivogo lesopol'zovanija [Ecological and economic foundations of sustainable forest management] / M.A. Danchenko, S.A. Kabanova. — Almaty : KazNIILHA, 2011. — 122 p. [in Russian]
14. Shorohova I.S. Statisticheskie metody analiza [Statistical methods of analysis] / I.S. Shorohova, N.V. Kisljak, O.S. Mariev. — Ekaterinburg : Ural'skij federal'nyj universitet, 2015. — 300 p. [in Russian]
15. Liu D. Quantitative Assessment of Climate Change Impacts on Forest Ecosystems / D. Liu, H. Yan, C.L. Yu // *Forest Science*. — 2021. — Vol. 3. — P. 40–47. DOI: 10.21203/rs.3.rs-913668/v1.
16. Xiao W. Tree Diversity Determines the Diversity of the Taxonomic and Functional Structure of the Fungal Community in Forest Litter in Southern China / W. Xiao, J. Zhao, X. Yan [et al.] // *Forest Science*. — 2023. — № 69(2). — P. 143–157. DOI: 10.1093/forsci/fxy037.