 © Авторы статьи / Authors of the article

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.2026.73.10 EDN: KGGDWS

ОЦЕНКА И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ВЫСОТНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДРЕВЕСНОГО ПОДРОСТА МЕТОДОМ ЛИНЕЙНОЙ РЕГРЕССИИ

Научная статья

Кабанов М.Н.[1], Зенкова Ж.Н.[2], Кабанова С.А.[3], Данченко М.А.[4,] *, Кабанов А.Н.[5]

[1] ORCID : 0000-0003-1885-5050;
[2] ORCID : 0000-0002-3776-9935;
[3] ORCID : 0000-0002-3117-7381;
[4] ORCID : 0000-0002-5974-9556;
[5] ORCID : 0000-0002-3199-543X;

[1, 2, 4] Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Российская Федерация
[3] Казахский агротехнический исследовательский университет имени Сакена Сейфуллина, Астана, Казахстан
[5] Государственный национальный природный парк «Бурабай», Бурабай, Казахстан

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

Предложена: 30.07.2026; Принята: 08.09.2026; Опубликована: 18.09.2026

Аннотация

В статье изучена роль естественного возобновления в обеспечении устойчивости лесных экосистем Казахстана. Цель работы — разработка и оценка линейных регрессионных моделей для прогнозирования высотного распределения подроста сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на основе наблюдений, проведённых за период с 2019 по 2023 гг., согласно методологии, рекомендованной ГОСТ Р 58004-2017. Методология включает корреляционный анализ, регрессионное моделирование и проверку остатков на нормальность (критерий Шапиро–Уилка). Установлено, что численность здорового подроста сильнее коррелирует с фактором времени (rÎ[0,58;0,89], чем с типом леса (rÎ[0,022;0,192]). Наибольшее сокращение характерно для низкого подроста (до 10 см), тогда как высокие группы (25–50 см и более 50 см) демонстрируют устойчивость. Полученные модели статистически значимы (по F-критерию p-value<0,05), обладают высокой объясняющей способностью (R^2Î[0,785;0,950]) и малой ошибкой аппроксимации (3,8–6,6%). Обоснованы критические пороговые значения для корректировки лесоводственных мероприятий. Показано, что соотношение групп 0–10 см и 11–25 см является наиболее информативным индикатором процессов возобновления. Модели рекомендуются для краткосрочного прогнозирования и оперативной оценки состояния подроста.

Ключевые слова: лесные экосистемы, древесный подрост, линейная регрессия, корреляционный анализ, естественное лесовозобновление.

ASSESSMENT AND FORECASTING OF THE DYNAMICS OF THE HEIGHT DISTRIBUTION OF YOUNG TREES USING LINEAR REGRESSION

Research article

Kabanov M.N.[1], Zenkova Z.N.[2], Kabanova S.A.[3], Danchenko M.A.[4,] *, Kabanov A.N.[5]

[1] ORCID : 0000-0003-1885-5050;
[2] ORCID : 0000-0002-3776-9935;
[3] ORCID : 0000-0002-3117-7381;
[4] ORCID : 0000-0002-5974-9556;
[5] ORCID : 0000-0002-3199-543X;

[1, 2, 4] Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation
[3] S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, Kazakhstan
[5] Burabay State National Nature Park, Burabay, Kazakhstan

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

Suggested: 30.07.2026; Accepted: 08.09.2026; Published: 18.09.2026

Abstract

The article examines the role of natural regeneration in ensuring the sustainability of Kazakhstan's forest ecosystems. The aim of the study is to develop and evaluate linear regression models for predicting the altitudinal distribution of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) tillers based on observations carried out between 2019 and 2023, in accordance with the methodology recommended by GOST R 58004-2017. The methodology includes correlation analysis, regression modelling and a test for normality of the residuals (Shapiro–Wilk test). It was found that the abundance of healthy tillers correlates more strongly with the time factor (rÎ[0.58; 0.89]) than with forest type (rÎ[0.022; 0.192]). The greatest reduction is characteristic of low saplings (up to 10 cm), while tall groups (25–50 cm and over 50 cm) demonstrate stability. The obtained models are statistically significant (according to the F-test, p-value < 0.05), possess high explanatory power (R^2 Î [0.785; 0.950]) and have a low

 © Авторы статьи / Authors of the article

approximation error (3.8–6.6%) Critical threshold values for adjusting silvicultural measures have been established. It has been shown that the ratio of the 0–10 cm and 11–25 cm groups is the most informative indicator of regeneration processes. The models are recommended for short-term forecasting and operational assessment of the condition of the tillers.

Keywords: forest ecosystems, tiller, linear regression, correlation analysis, natural forest regeneration.

Введение

Устойчивость лесных экосистем в значительной степени определяется успешностью естественного возобновления, количественные и качественные характеристики которого находятся в прямой зависимости от пространственно-временной гетерогенности фитоценозов. Важной задачей выступает количественная оценка значимости выявленных зависимостей для формирования обоснованного прогноза развития подроста, что создает основу для планирования лесоводственных мероприятий.

Главная проблема лесоводственной таксации и мониторинга — высокая вариабельность высотного распределения подроста, обусловленная микроэкотопической неоднородностью. Метод линейной регрессии позволяет формализовать эту изменчивость через математические модели, связывающие прирост с комплексом абиотических и биотических факторов. В зарубежной литературе этот подход нередко интегрируется в более сложные имитационные модели, представляя собой основу для прогноза развития древостоев [1], [2], [3], [4], [5].

Регрессионный анализ рассматривается как инструмент оптимизации лесокультурного производства. Авторы [6], [7], [8] исследуют морфогенез и продуктивность древесных пород на территории Северного Казахстана и анализируют влияние стимуляторов роста на сеянцы сосны, однако акцент в их методологии смещен в сторону таксационных показателей, а регрессионный анализ выступает вспомогательным инструментом, уступая место факторному анализу.

Проблеме учета множества взаимодействующих факторов посвящено ряд работ. Так, в исследованиях Л.В. Черных с соавторами [9] обосновывается применение многобалльных шкал, которые являются возможностью принятия лесохозяйственных решений, интегрируя статистические оценки в практику лесовосстановления. В исследованиях по биометрии подчеркивается, что в моделировании хода роста древостоев линейные модели способны описывать лишь 70–90% информации, а остаточная вариация требует либо полиномиального усложнения, либо перехода к системам связанных уравнений [10]. Выявлено, что регрессия выступает инструментом таксационной оценки состояния насаждения и прогнозирования его будущего распределения по высотам [11].

Цель статьи данной статьи состоит в разработке и оценке линейных регрессионных моделей, описывающих взаимосвязь между временным фактором и структурными долями подроста сосны обыкновенной различных высотных категорий, а также в определении статистически значимых закономерностей изменения структуры древесного подроста и оценки возможности прогнозирования его высотного распределения.

Задачи исследования предполагают последовательную реализацию следующих этапов: количественная оценка временной динамики долей подроста для каждой высотной группы, интерпретация выявленных закономерностей и обоснование критических значений, при которых требуется корректировка мероприятий содействия лесовозобновлению.

Методы и принципы исследования

Исследования проводились на основе материалов лесоустройства и результатов полевых обследований. В качестве объекта исследования рассматривался здоровый подрост сосны обыкновенной в Казахском мелкосопочнике естественного происхождения на одних и тех же трех пробных площадях размером 10 х 10 м в течение 5 лет (2019–2023 гг.). Подрост сосны обыкновенной распределялся по высотным группам: до 10 см, 11–25 см, 25–50 см и 51–100 см в соответствие с методикой, регламентированной в ГОСТ Р 58004-2017 [12]. Для каждой высотной группы определялась численность подроста с последующим расчетом структурной доли в виде процентного соотношения числа деревьев из этой группы к общему количеству исследованных деревьев.

В качестве факторов, потенциально влияющих на состояние и структуру подроста, анализировали год наблюдений и условия произрастания (тип леса — сосняк очень сухой, сухой, свежий, влажный и мокрый). Для удобства оценивания влияния временного фактора натуральная переменная «Год», изменяющаяся в пределах от 2019 до 2023, была линейно преобразована в переменную $t = 1, \ldots, 5$.

Статистическую обработку данных проводили с использованием корреляционного и регрессионного анализа. Тесноту связи между показателями оценивали по коэффициенту корреляции Пирсона (r) и Спирмена. Качество полученных моделей оценивали по коэффициенту детерминации (R^2) и средней ошибке аппроксимации (A). Статистическую значимость моделей проверяли с использованием F-критерия Фишера, значимость каждого коэффициента регрессии — по t-критерию Стьюдента. Соответствие остатков моделей нормальному распределению оценивали с помощью критерия Шапиро-Уилка. Для определения вклада отдельных лесорастительных факторов в формирование численности подроста использовали корреляционный анализ между типом леса, годом наблюдений и численностью подроста различных высотных групп.

Основные результаты

В таблице 1 приведены исходные данные численности подроста по высотным категориям, из которой видно, что во всех вариантах основную часть составляют деревья высотой до 10 см, доля которых со временем уменьшается. Количество деревьев высотой 11–25 см и 25–50 см значительно ниже.

 © Авторы статьи / Authors of the article

Таблица 1 - Количество подроста по годам

DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2026.73.10.1

t	Число деревьев, тыс.шт/га, по высоте, см			Всего, шт
	до 10	11-25	25-50	
1	397	180	37	614
2	295	158	40	493
3	128	43	5	176
4	91	26	4	121
5	15	3	1	19

Примечание: t — порядковый номер года наблюдений, использованный в качестве временной переменной при построении регрессионных моделей

Корреляционный анализ показал, что численность здорового подроста различных высотных групп больше связана с фактором времени, чем с типом леса. Сокращение численности наиболее выражено среди низкого подроста, тогда как более высокий подрост оказался менее чувствительным к изменению условий за годы исследований. Корреляции между типом леса и численностью подроста во всех высотных группах очень слабые (rÎ[0,022;0,192]), что свидетельствует об отсутствии заметного влияния данного фактора на распределение подроста. Между численностью подроста различных высотных групп наблюдается сильная положительная корреляция (rÎ[0,782; 0,937]) (таблица 2).

Таблица 2 - Матрица коэффициентов корреляции Пирсона (r)

DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2026.73.10.2

Переменная	Год	Тип леса	Высота подроста, см			
			до 10	11-25	25-50	51-100
			Число подроста, шт			
Год	1	–	–	–	–	–
Тип леса	0,000	1	–	–	–	–
деревья высотой до 10 см, шт.	–0,715	0,022	1	–	–	–
деревья высотой 11-25 см, шт.	–0,751	0,192	0,782	1	–	–
деревья высотой 25-50 см, шт.	–0,619	0,141	0,803	0,937	1	–
деревья высотой 51-100 см, шт.	–0,352	0,125	0,570	0,544	0,594	1

Условия произрастания (тип леса) не оказали заметного воздействия ни на один рассматриваемый показатель в смысле коэффициента корреляции Спирмена (таблица 3), следовательно, нельзя однозначно утверждать, что тип леса влияет на число здоровых деревьев линейно.

Таблица 3 - Матрица коэффициентов ранговой корреляции Спирмена

DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2026.73.10.3

Переменная	Тип леса	Высота подроста, см			
		до 10	11-25	25-50	51-100
		Число подроста, шт			
Тип леса	1	–	–	–	–
деревья высотой до 10 см, шт.	0,05	1	–	–	–
деревья	0,22	**0,88**	1	–	–

 © Авторы статьи / Authors of the article

Переменная	Тип леса	Высота подроста, см			
		до 10	11-25	25-50	51-100
		Число подроста, шт			
высотой 11-25 см, шт.					
деревья высотой 25-50 см, шт.	0,26	0,73	**0,81**	1	–
деревья высотой 51-100 см, шт.	0,19	0,41	0,39	0,39	1

Однозначного функционального влияния условий произрастания на высоту деревьев выявить не удалось, поэтому далее исходные данные были агрегированы по годам и распределены по высоте в процентном соотношении, а деревья высотой более 50 см исключены из рассмотрения в связи с большим количеством нулей в распределениях частот. В таблице 4 приведена матрица корреляций Пирсона, из которой видно, что основным фактором изменений является время наблюдений, с увеличением которого происходит существенное снижение общей численности подроста во всех высотных группах. При этом численность различных групп изменяется пропорционально, что подтверждается очень высокими положительными коэффициентами корреляции между ними (r = 0,941–0,986). Одновременно происходят изменения в структуре подроста: относительная доля деревьев высотой до 10 см увеличивается, тогда как доля подроста высотой 11–25 см уменьшается. Полученные зависимости позволяют сделать вывод о продолжающемся естественном изреживании подроста при доминировании наиболее низкорослой высотной группы.

Таблица 4 - Матрица коэффициентов корреляции Пирсона (r) для агрегированных данных

DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2026.73.10.4

Показатель	*t*	Количество подроста, шт по высотным группам, см			Всего, шт.	Доля подроста, %, по высотным группам, см		
		до 10	11-25	25-50		до 10	11-25	25-50
t	1	–	–	–	–	–	–	–
До 10 см, шт.	–0,978	1	–	–	–	–	–	–
11-25 см, шт.	–0,948	0,986	1	–	–	–	–	–
25-50 см, шт.	–0,883	0,941	0,983	1	–	–	–	–
Всего, шт.	–0,967	0,997	0,996	0,964	1	–	–	–
До 10 см, %	0,886	–0,899	–0,944	–0,963	–0,924	1	–	–
11-25 см, %	–0,926	0,900	0,915	0,903	0,910	–0,975	1	–
25-50 см, %	–0,468	0,596	0,715	0,820	0,654	–0,740	0,570	1

Сильная корреляция дала возможность перейти к построению линейных регрессионных моделей вида $Y = aX + b$, отражающих непосредственную функциональную связь между рассматриваемыми количественными показателями, при этом точность моделей была наиболее высокой именно для долей. При непосредственном анализе числа деревьев разной высоты средняя абсолютная относительная ошибка аппроксимации *A* находилась в пределах от 24 до 174%, также большую ошибку продемонстрировали модели, отражающие связи долей деревьев высотой от 25 до 50 см со всем остальными показателями — ошибка *A* для них варьировалась от 23,1 до 35,5%, переход к анализу долей, т.е., к структурным показателям, снизил ошибку *A* в ряде случаев более чем на порядок. В таблице 5 приведены результаты моделирования, отражающие наиболее точные зависимости между такими количественными переменными как время *t* и долями деревьев высотой до 25 см.

Заметим, что все рассматриваемые модели обладают высоким качеством: коэффициент детерминации R^2 показывает, что дисперсия долей деревьев до 10 см высотой более чем на 78,5% объясняется дисперсией времени; для доли деревьев высотой от 11 до 25 см дисперсия на 85,7% объясняется изменением времени и практически полностью (на 95%) зависит от дисперсии долей деревьев до 10 см высотой. Во всех моделях значения *p*-value — достигнутого

 © Авторы статьи / Authors of the article

уровня значимости критерия Фишера — не превышают 0,05, что подтверждает статистическую значимость уравнений регрессии в целом; все параметры моделей статистически значимы и надежные (*p*-value *t*-критерия Стьюдента), остатки нормальны — достигнутые уровни значимости критерия Шапиро-Уилка *p*-value > 0,05. Но самое главное — модели обладают очень высокой точностью: ошибка *A* для всех моделей не превышает 6,6%.

Таблица 5 - Коэффициенты моделей и характеристики их качества

DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2026.73.10.5

Модели вида $Y=aX+b$								
Влияющий фактор *X*	*a*	*b*	R^2	*A*	*p*-value *F*-критерия	*p*-value *t*-критерия для *a*	*p*-value *t*-критерия для *b*	*p*-value критерия Шапиро-Уилка
Y X	*Y* =«До 10 см, %»							
t	0,044	0,571	0,785	3,8%	0,045	0,045	0,001	0,126
Y X	*Y* =«11-25 см, %»							
t	–0,038	0,359	0,857	6,6%	0,024	0,024	0,001	0,622
До 10 см, %	–0,798	0,807	0,950	5,3%	0,005	0,005	0,002	0,834

Из полученных моделей следует, что доля деревьев высотой до 10 см имеет устойчивую тенденцию к увеличению и в среднем возрастает на 4,4% в год. Свободный член модели (0,571) показывает, что при условном нулевом значении времени расчетная доля деревьев этой высотной группы составляет 57,1%. Доля деревьев высотой 11–25 см также изменяется во времени, однако наиболее тесно связана с долей деревьев высотой до 10 см (R^2 = 0,950). Согласно модели, увеличение доли деревьев до 10 см сопровождается уменьшением доли деревьев высотой 11–25 см. Влияние времени также статистически значимо: в среднем доля деревьев высотой 11–25 см уменьшается на 3,8% в год, а свободный член модели (0,359) отражает расчетное значение показателя при условном нулевом значении времени. Если использовать временную модель, то на следующий год ожидаемая доля деревьев высотой до 10 см увеличится с 75,0 до 79,4%. Тогда прогнозируемая доля деревьев высотой 11–25 см, рассчитанная по наиболее точной модели, составит 17,3%.

Заключение

Результаты исследования свидетельствуют, что формирование структуры здорового подроста определяется преимущественно временной динамикой роста растений и их переходом между высотными категориями, тогда как влияние типа леса и влажности почвы в исследуемых условиях выражено слабо. Наиболее информативным показателем состояния возобновления является соотношение подроста высотой до 10 см и 11–25 см, поскольку именно между этими группами выявлена наиболее тесная статистическая связь. Это позволяет рассматривать распределение подроста по высотным категориям как чувствительный индикатор процессов естественного возобновления древостоев.

Полученные регрессионные модели позволяют количественно оценивать динамику распределения подроста по высотным группам и обладают высокой объясняющей способностью (R^2 = 0,785–0,950), статистически значимы и имеют небольшую ошибку аппроксимации (3,8–6,6%). Поэтому они могут использоваться для оценки текущего состояния подроста и краткосрочного прогнозирования изменения его высотной структуры.

Благодарности

Евгению Владимировичу Архипову, старшему научному сотруднику отдела науки, информации и экологического мониторинга ГНПП Бурабай.

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

The authors express their gratitude to Yevgeny Vladimirovich Arkhipov, Senior Research Fellow in the Department of Science, Information and Environmental Monitoring at the Burabai State National Park.

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. Viherä-Aarnio A. Effects of seed origin and sowing time on timing of height growth cessation of Betula pendula seedlings / A. Viherä-Aarnio, R. Häkkinen, J. Partanen et al. // Tree Physiology. — 2005. — Vol. 25, № 1. — P. 101–108. — DOI: 10.1093/treephys/25.1.101

 © Авторы статьи / Authors of the article

2. Leclère L. Estimation of within-gap regeneration height growth in managed temperate deciduous forests using bi-temporal airborne laser scanning data / L. Leclère, N. Latte, R. Candaele et al. // Annals of Forest Science. — 2024. — Vol. 81, Article 36. — DOI: 10.1186/s13595-024-01252-9

3. Rammig A. Forest regeneration after disturbance: A modelling study for the Swiss Alps / A. Rammig, L. Fahse, P. Bebi et al. // Forest Ecology and Management. — 2006. — Vol. 222, № 1-3. — P. 123–136. — DOI: 10.1016/j.foreco.2005.10.042

4. Thomson A. Height growth rates of young white spruce and lodgepole pine / A. Thomson, R.G. McMinn // Canadian Journal of Forest Research. — 2011. — Vol. 19, № 2. — P. 257–261. — DOI: 10.1139/x89-036

5. Jacobs D.F. Relative contribution of initial root and shoot morphology in predicting field performance of hardwood seedlings / D.F. Jacobs, K.F. Salifu, J.R. Seifert // New Forests. — 2005. — Vol. 30(2). — P. 235–251. — DOI: 10.1007/s11056-005-5419-y

6. Кабанова С.А. Лесохозяйственные технологии создания устойчивых лесных культур в Казахстане / С.А. Кабанова, М.А. Данченко. — Щучинск: Мир печати, 2017. — 200 с.

7. Кабанова С.А. Обоснование подбора стимуляторов роста сеянцев сосны обыкновенной в экстремальных условиях степных районов Северного Казахстана / С.А. Кабанова, У. Мусони, Ж.Н. Зенкова и др. // Enviromis 2020 : Международная конференция и школа молодых ученых по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды: избранные труды. — Томск: Томский центр научно-технической информации, 2020. — С. 294–296.

8. Kabanova S.A. Regional risks of artificial forestation in the steppe zone of Kazakhstan (case study of the green belt of Astana) / S.A. Kabanova, Z.N. Zenkova, M.A. Danchenko // International Conference and Early Career Scientists School on Environmental Observations, Modeling and Information Systems. — IOP Publishing, 2018. — P. 012055. — DOI: 10.1088/1755-1315/211/1/012055

9. Черных Л.В. Лесоводственно-статистический подход к назначению способов лесовосстановления при лесоустройстве / Л.В. Черных, Д.В. Черных, С.А. Денисов и др. // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. — 2017. — 4(358). — С. 9–22. — DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.9

10. Багинский В.Ф. Биометрия в лесном хозяйстве / В.Ф. Багинский, О.В. Лапицкая. — Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2017. — 276 с.

11. Полякова Г.Г. Таксационная оценка состояния молодняка сосны при естественном лесовозобновлении / Г.Г. Полякова, М.Ф. Поляков, А.А. Ибе и др. // Сибирский лесной журнал. — 2016. — 4. — С. 98–104. — DOI: 10.15372/SJFS20160410

12. ГОСТ Р 58004-2017. Лесовосстановление. Технические условия : национальный стандарт Российской Федерации: разработан Федеральным бюджетным учреждением «Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства» : внесен Техническим комитетом по стандартизации ТК 449 «Лесоводство и смежные виды деятельности» : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28 ноября 2017 г. N 1847-ст : введен впервые. — Введ. 2017-11-28. — Москва: Стандартинформ, 2018. — 28 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Viherä-Aarnio A. Effects of seed origin and sowing time on timing of height growth cessation of Betula pendula seedlings / A. Viherä-Aarnio, R. Häkkinen, J. Partanen et al. // Tree Physiology. — 2005. — Vol. 25, № 1. — P. 101–108. — DOI: 10.1093/treephys/25.1.101

2. Leclère L. Estimation of within-gap regeneration height growth in managed temperate deciduous forests using bi-temporal airborne laser scanning data / L. Leclère, N. Latte, R. Candaele et al. // Annals of Forest Science. — 2024. — Vol. 81, Article 36. — DOI: 10.1186/s13595-024-01252-9

3. Rammig A. Forest regeneration after disturbance: A modelling study for the Swiss Alps / A. Rammig, L. Fahse, P. Bebi et al. // Forest Ecology and Management. — 2006. — Vol. 222, № 1-3. — P. 123–136. — DOI: 10.1016/j.foreco.2005.10.042

4. Thomson A. Height growth rates of young white spruce and lodgepole pine / A. Thomson, R.G. McMinn // Canadian Journal of Forest Research. — 2011. — Vol. 19, № 2. — P. 257–261. — DOI: 10.1139/x89-036

5. Jacobs D.F. Relative contribution of initial root and shoot morphology in predicting field performance of hardwood seedlings / D.F. Jacobs, K.F. Salifu, J.R. Seifert // New Forests. — 2005. — Vol. 30(2). — P. 235–251. — DOI: 10.1007/s11056-005-5419-y

6. Kabanova S.A. Lesoxozyajstvenny'e texnologii sozdaniya ustojchivy'x lesny'x kul'tur v Kazaxstane [Forestry technologies for establishing sustainable forest crops in Kazakhstan] / S.A. Kabanova, M.A. Danchenko. — Shhuchinsk: Mir pechati, 2017. — 200 p. [in Russian]

7. Kabanova S.A. Obosnovanie podbora stimulyatorov rosta seyantsev sosni obiknovennoi v ekstremalnikh usloviyakh stepnikh raionov Severnogo Kazakhstana [The selection of Scots pine seedlings' growth stimulants in extreme conditions of the Northern Kazakhstan steppe zone] / S.A. Kabanova, U. Musoni, Zh.N. Zenkova et al. // Enviromis 2020 : International Conference and Early Scientists School on Environmental Observations, Modeling, and Information Systems: Selected Papers. — Tomsk: Tomskii tsentr nauchno-tekhnicheskoi informatsii, 2020. — P. 294–296. [in Russian]

8. Kabanova S.A. Regional risks of artificial forestation in the steppe zone of Kazakhstan (case study of the green belt of Astana) / S.A. Kabanova, Z.N. Zenkova, M.A. Danchenko // International Conference and Early Career Scientists School on Environmental Observations, Modeling and Information Systems. — IOP Publishing, 2018. — P. 012055. — DOI: 10.1088/1755-1315/211/1/012055

9. Cherny'x L.V. Lesovodstvenno-statisticheskij podxod k naznacheniyu sposobov lesovosstanovleniya pri lesoustrojstve [Silvicultural and statistical approach to the reforestation methods assignment in forest management] / L.V. Cherny'x, D.V.

 © Авторы статьи / Authors of the article

Cherny'x, S.A. Denisov et al. // Proceedings of Universities. Forestry Journal. — 2017. — 4(358). — P. 9–22. — DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.9 [in Russian]

10. Baginskij V.F. Biometriya v lesnom xozyajstve [Biometry in Forestry] / V.F. Baginskij, O.V. Lapiczkaya. — Gomel': GGU im. F. Skoriny', 2017. — 276 p. [in Russian]

11. Polyakova G.G. Taksacionnaya ocenka sostoyaniya molodnyaka sosny' pri estestvennom lesovozobnovlenii [Forest inventory assessment of naturally regenerated young pine tree stand] / G.G. Polyakova, M.F. Polyakov, A.A. Ibe et al. // Siberian Journal of Forest Science. — 2016. — 4. — P. 98–104. — DOI: 10.15372/SJFS20160410 [in Russian]

12. GOST R 58004-2017. Lesovosstanovlenie. Tekhnicheskie usloviya [GOST R 58004-2017. Reforestation. Technical specifications] : national standard of the Russian Federation : developed by the Federal Budgetary Institution ‘All-Russian Research Institute of Silviculture and Forestry Mechanisation’ : submitted by Technical Committee for Standardisation TK 449 ‘Silviculture and related activities’ : approved and brought into force by Order No. 1847-st of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated 28 November 2017 : introduced for the first time. — Introduced 2017-11-28. — Moscow: Standartinform, 2018. — 28 p. [in Russian]