

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Экология

УДК 581.522.62:581.141(571.56)

<https://doi.org/10.31242/2618-9712-2025-30-4-618-629>



Оригинальная статья

Дальность разлета семян анемохорных деревьев Якутии

А. П. Исаев[✉], Л. П. Габышева, И. И. Чикидов

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, г. Якутск, Российская Федерация

[✉]alex_isaev@mail.ru

Аннотация

Процесс естественного восстановления древесной растительности на нарушенных лесных территориях во многом зависит от обеспеченности нарушенных площадей семенным материалом, выраженности частоты семеношения (плодоношения) и успешности распространения семян. В связи с этим весьма актуально изучение дальности разлета семян основных древесных пород как одного из важнейших факторов лесовозобновления. В статье приведены результаты изучения полета семян основных анемохорных деревьев Якутии – лиственницы, сосны и березы. Экспериментальные данные получены в лабораторных условиях запуском семян с высоты 3,6 м в идеальных безветренных условиях. Замерены скорости парашютирования семян, на основе чего выведены коэффициенты полетных качеств семян сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L., лиственниц Гмелина *Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr и Каяндера *L. cajanderi* Mayr, березы повислой или плосколистной *Betula pendula* ssp. *platyphylla* Sukacz. (в дальнейшем применен синоним «береза плосколистная»), собранных в разное время в разных районах Центральной Якутии. Установлено, что формула, предложенная для анемохорных хвойных, справедлива для всех видов анемохорных пород деревьев, семена которых оснащены крылатками и являются летучими. В эксперименте наименее летучими у изученных пород оказались семена лиственницы, затем идут семена сосны и березы (коэффициенты полетных качеств $1,01 \pm 0,03$ у лиственницы, $0,61 \pm 0,01$ у сосны и $0,50 \pm 0,01$ м/с у березы). Рассчитано процентное соотношение семян анемохорных хвойных, «отлетающих» на разное расстояние от семенного дерева при разной скорости ветра. На основе проведенных расчетов составлены таблицы распространения основной массы и максимальной дальности разлета семян основных древесных пород Якутии с различной высоты (от 10 до 30 м) и при ветре разной скорости. Разработанные таблицы позволяют практически для каждого лесного выдела объективно оценить дальность разлета семян, более точно определить ширину и направление лесосеки с учетом конкретных условий, грамотно подобрать лесохозяйственные мероприятия.

Ключевые слова: анемохория, Якутия, распространение семян древесных растений, полетные качества, дальность разлета семян

Финансирование. Работа выполнена в рамках госзадания Минобрнауки России по проектам «Растительный покров криолитозоны таежной Якутии: биоразнообразие, средообразующие функции, охрана и рациональное использование (код научной темы: FWRS-2021-0023; № AAAA-A21-121012190038-0) и с применением оборудования ЦКП ФИЦ «ЯНЦ СО РАН» (№ 13. ЦКП.21.0016).

Для цитирования: Исаев А.П., Габышева Л.П., Чикидов И.И. Дальность разлета семян анемохорных деревьев Якутии. *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2025;30(4):618–629. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2025-30-4-618-629>

Dispersal distance of anemochorous tree seeds in Yakutia

Alexander P. Isaev✉, Lyudmila P. Gabysheva, Ivan I. Chikidov

Institute for Biological Problems of Cryolithozone,
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation
✉alex_isaev@mail.ru

Abstract

This article presents the results of an experimental study on the flight characteristics of seeds from the primary anemochorous tree species of Yakutia—larch, pine, and birch. Experiments were conducted under controlled laboratory conditions, where seeds were released from a height of 3.6 meters in calm, windless conditions. The parachuting speeds of the seeds were measured, enabling the calculation of flight performance coefficients for seeds of *Pinus sylvestris*, *Larix gmelinii* and *Larix cajanderi*, and *Betula pendula* ssp. *platyphylla* Sukacz., collected at various times and locations across Central Yakutia. The study confirms that the derived formula for anemochorous conifers applies to all tree species possessing winged, flight-capable seeds. Furthermore, the seeds with the lowest flight performance among the studied species were those of larch, followed by pine and birch (flight performance coefficients of 1.01 ± 0.03 for larch, 0.61 ± 0.01 for pine, and 0.50 ± 0.01 m/s for birch). The percentage of anemochorous conifer seeds dispersing at various distances from the parent tree under different wind speeds was calculated. Based on these calculations, tables were compiled showing the distribution of the majority of seeds and the maximum seed dispersal distances for the main tree species of Yakutia from different release heights (ranging from 10 to 30 meters) and at varying wind speeds. Therefore, the compiled data provide a basis for the objective assessment of seed dispersal ranges for nearly any forest stand. As a result, this facilitates more accurate planning of felling area dimensions and orientation according to site-specific conditions and supports the informed selection of appropriate silvicultural measures.

Keywords: anemochory, Yakutia, seed dispersal, flight characteristics, seed range

Funding. This study was conducted within the framework of the state assignment from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under the project “Vegetation cover of the cryolithozone of the taiga Yakutia: biodiversity, habitat-forming functions, protection, and rational use” (theme No. FWRS-2021-0023, reg. No. AAAA-A21-121012190038-0), using equipment from the Core Shared Research Facilities of the Federal Research Centre “The Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences” (No. 13. CSRF.21.0016).

For citation: Isaev A.P., Gabysheva L.P., Chikidov I.I. Dispersal distance of anemochorous tree seeds in Yakutia. *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2025;30(4):618–629. (In Russ.); <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2025-30-4-618-629>

Введение

Как известно, успех естественного восстановления древесной растительности на нарушенных лесных территориях во многом зависит от частоты семеношения (плодоношения) и успешности распространения семян [1–4]. Изучению разных аспектов семеношения древесных пород Якутии посвящены работы зоологической тематики [5, 6], специализированные статьи о биологии и экологии лиственницы [7–12], сосны [9, 13] и другие публикации [14, 15].

Установлено, что в условиях Якутии семеношение у сосны и березы бывает почти ежегодно, но разной степени урожайности. В то же время у лиственниц отмечаются годы практически полного отсутствия семеношения на больших площадях [6, 8, 14].

К важным составляющим лесовозобновления на нарушенных территориях относится их обеспеченность семенным материалом. В связи с этим весьма актуальны работы по изучению разлета семян основных древесных пород. Изучение процессов диссеминации древесных пород в основном проводилось в отношении к плодоношению (семеношению) и способам распространения семян [16–18]. Изучалась также дальность разлета семян анемохорных древесных пород в естественных условиях [19–21], в том числе и на территории Якутии [7, 22].

Оптимальные расстояния разлета основной массы семян у хвойных следующие: до 100 м у ели, до 73 м у сосны и до 50 у лиственницы [21]. Близкие результаты сообщает И.С. Мелехов [1] – оптимальный разлет семян ели, как и сосны, про-

исходит на удалении 50–70 м, за эти пределы попадает лишь небольшая часть семян. В Якутии максимальное количество самосева лиственницы на вырубках и гарях среднетаежной подзоны Якутии приходится на расстояния 50–80 (100) м от опушки леса [15, 23].

Разработке математических моделей, описывающих разлет семян некоторых видов деревьев, посвящены работы А.К. Денисова [19], С.А. Денисова [17], А.П. Исаева, Н.М. Ситникова [9], Т.А. Комаровой [18], О.И. Евстигнеева и др. [20], С.Н. Орловского и др. [24].

А.К. и С.А. Денисовыми [17] изучены аэродинамические свойства семян сосны, выявлена зависимость между весом семени и скоростью его парашютирования, установлено, что семена, имеющие большую скорость падения/парашютирования, отлетают от материнского дерева на меньшее расстояние. Также авторами экспериментально установлен факт, что падение/парашютирование семян сосны представляет образец парашютирования и подчиняется законам равномерного движения.

Попытка теоретически рассчитать траекторию и дальность разлета семян лиственницы сибирской приведена в статье С.Н. Орловского и др. [24], однако, как отмечают сами разработчики, расчеты проведены без учета парусности семян лиственницы, в связи с чем авторы констатируют необходимость в экспериментальном исследовании в лабораторных условиях. К тому же авторы в расчетах по существу исходили из того, что парашютирование семян лиственницы сибирской представляет собой равноускоренное движение, в связи с чем учитывали показатель ускорения свободного падения.

В представленной работе исследована дальность разлета семян основных анемохорных деревьев Якутии, проведен эксперимент по полету семян и вычислена расчетная дальность разлета основной массы семян древесных пород при разной скорости ветра.

Материалы и методы

А.П. Исаевым, Н.М. Ситниковым [9] и в ряде других работ якутских авторов [10, 25, 26] на основе принятия постулата о равномерности падения/парашютирования семян, оснащенных крылатками, была предложена и использовалась довольно простая методика расчета дальности разлета семян сосны и лиственницы основных хвойных пород Якутии. Впрочем, скорость вер-

тикального движения семени на разных отрезках падения практически одинакова у всех деревьев, семена которых оснащены крылатками.

По мере парашютирования семени лиственницы и сосны крылатка способствует его раскручиванию по вертикали, гасит ускорение, причем если на начальном отрезке пути положение семени практически вертикальное, то в последующем по мере раскручивания быстро переходит в почти горизонтальное (рис. 1). В вертикальном движении семени можно выделить три основные фазы полета. На начальном отрезке (0–20 см) оно представляет собой свободное падение, затем по мере раскручивания семена находятся в процессе ускоряющейся ротации почти в горизонтальном положении, а падение переходит в парашютирование – движение становится практически равномерным.

Предложенная в более ранних наших работах формула для вычисления дальности разлета семян учитывает полетные качества семян (K_p), среднюю высоту древостоя (H , м) и скорость господствующих во время массового вылета семян ветров (v_w , м/с). Коэффициент полетных качеств (K_p) семян вычисляется как обратная величина скорости парашютирования семян. Таким образом, дальность разлета вычисляется по экспериментально установленной скорости падения/парашютирования семени, пущенного с определенной высоты в «идеальной» воздушной среде (внутри помещения).

Экспериментальные данные получены в лабораторных условиях запуском семян с высоты 3,6 м в идеальных безветренных условиях. В экспериментах по определению полетных качеств семян были использованы семена лиственницы Каяндера, собранные в лесах разных районов Якутии (Центральная и Северная Якутия), лиственницы Гмелина (Западная Якутия), сосны обыкновенной (Центральная и Северная Якутия), березы плосколистной (Центральная Якутия).

Результаты и обсуждение

В лабораторных условиях экспериментально замерены скорости парашютирования семян (v_p , м/с), на основе чего выведены коэффициенты полетных качеств семян сосны обыкновенной и лиственниц Гмелина и Каяндера, собранных в разное время в разных районах Якутии (табл. 1). Формула, используемая для анемохорных хвойных, справедлива для всех видов анемохорных пород деревьев, семена которых оснащены крылатками и являются летучими. В Якутии

это также лиственница сибирская, ель сибирская, ель аянская и пихта сибирская. С определенными оговорками она справедлива и к «якутским» видам берез (березы пушистая, плосколистная и шерстистая). Поэтому, несмотря на иной характер полета (не парашютирование семян, а их планирование), проведен расчет и по скорости падения семян березы плосколистной. Экспериментальные измерения скорости падения семян березы показали, что этот процесс, как и у исследованных хвойных пород, представляет собой почти равномерное движение, подчиняющееся классической формуле, т. е. пройденный путь (S , м) равен произведению скорости движения (v , м/с) и времени в пути (t , с).

В табл. 2 для сравнения приведены скорости парения и показатели полетных качеств семян сосны и березы бородавчатой (*Betula pendula* Roth) из Марий Эл [17, 19]. Если скорости парашютирования и коэффициенты полетных качеств семян березы из этих отдаленных друг от друга регионов практически совпадают, то по сосне данные заметно расходятся, что очевидно зависит от морфологических различий семян, собранных в разных географических районах.

Ранее было выявлено, что значение коэффициента полетных качеств (K_f) зависит от размера и веса семян, размера крылатки (табл. 3), а эти показатели, в свою очередь, зависят от вида дерева, его местопрорастания, морфометрических качеств семян урожая конкретного года [10, 27]. В то же время показатель полетных качеств семян в большей степени зависит от вида древесной породы и географически обусловленных морфологических свойств семян, в связи с чем его можно рассматривать как характерную для того или иного вида географически обусловленную константу. Парусность семян обеспечивается наличием у них широкого крыла, площадь которого, несомненно, влияет на полетные качества диаспоры. Не менее важен такой показатель как вес семени, хорошо коррелирующий с коэффициентом полетных качеств семян.

Основные древесные породы Якутии (лиственница, сосна и береза) имеют анемохорный способ распространения семян, и ветер как основной фактор распространения семян в лесах Якутии играет важную роль. Дальность распространения семян зависит также от формы крылатки семени. Семена сосны и лиственницы относятся к планирующим авторотирующим эванемохорам. Крылатки у них одиночные, резко асимметричны относительно центра тяжести. Береза же имеет

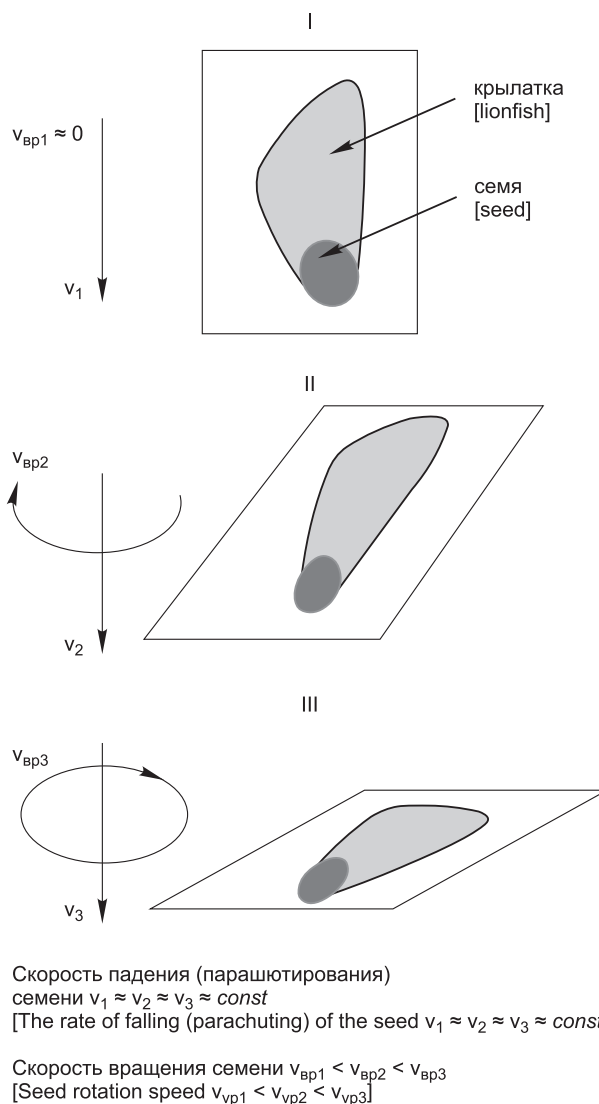


Рис. 1. Изменение характера полета/парашютирования семян анемохорных деревьев.

I–III – фазы полета: I – свободное падение, менее 1 с; II – переходная от падения к парашютированию, менее 1 с; III – парашютирование, оставшееся время

Fig. 1. Changes in the flight/parachuting mechanisms of anemochorous tree seeds

Phase I (Free Fall): Duration < 1 second. Phase II (Transition): The shift from free fall to parachuting descent. Duration < 1 second. Phase III (Parachuting): Stable descent phase, comprising the remainder of the flight time

два симметричных крыла [16], относится к видам с высокими аэродинамическими качествами [20].

Из табл. 4 видно, что по средней скорости парашютирования наименее летучи у изученных пород семена лиственницы, затем идут семена сосны и березы ($1,01 \pm 0,03$ у лиственницы, $0,61 \pm 0,01$ у сосны и $0,50 \pm 0,01$ м/с у березы). Такая же ситуация по максимальной скорости.

Таблица 1

Скорость парашютирования (v , м/с) и коэффициент полетных качеств (K_f) семян основных древесных пород Якутии

Table 1

Parachuting speed (v , m/s) and flight quality coefficient (K_f) of seeds from major tree species in Yakutia

Год	Место сбора семян	Древесные породы								Источник информации
		лиственница Каяндера		лиственница Гмелина		сосна обыкновенная		береза плосколистная		
		<i>v</i>	<i>K_f</i>	<i>v</i>	<i>K_f</i>	<i>v</i>	<i>K_f</i>	<i>v</i>	<i>K_f</i>	
Центральная Якутия										
1990	Усть-Майский район	0,9	1,1	–	–	–	–	–	–	[9]
1991	г. Якутск	0,8	1,3	–	–	0,58	1,72	–	–	[9]
2000	г. Якутск	1,0	1,0	–	–	–	–	–	–	[26]
2000	Таттинский район	0,9	1,1	–	–	–	–	–	–	[10]
2000	Чурапчинский район	1,0	1,1	–	–	–	–	–	–	[10]
2004	г. Якутск	0,9	1,1	–	–	–	–	–	–	[10]
2012	г. Якутск	1,0	1,0	–	–	–	–	–	–	[26]
2012	Намский район	1,2	0,8	–	–	–	–	–	–	[26]
2024	г. Якутск	1,0	1,0	–	–	0,6	1,6	0,5	2,0	Неопубликованные данные
Северная Якутия										
2002	Булунский район, бассейн р. Молодо	–	–	0,8	1,2	–	–	–	–	[10]
2009	Булунский район, остров Тит-Ары	0,8	1,3	–	–	–	–	–	–	[14]
2009	Булунский район, Хараулахский хребет	0,9	1,1	–	–	–	–	–	–	[14]
2012	Жиганский район	–	–	–	–	0,5	1,9	–	–	[25]
Западная Якутия										
2003	г. Мирный	–	–	0,8	1,3	–	–	–	–	[14]
	в среднем	0,9	1,1	0,8	1,2	0,6	1,7	0,5	2,0	

Таблица 2

Скорость парашютирования (v , м/с) и коэффициенты полетных качеств (K) семян сосны обыкновенной и березы бородавчатой в Марий Эл

Table 2

Parachuting speed (v , m/s) and flight quality coefficients (K) of Scots pine and warty birch seeds in Marii El

Год	Древесная порода				Источник информации
	Сосна обыкновенная		Береза бородавчатая		
	v	K_f^*	v	K_f^*	
1971	0,8–2,6	0,4–1,2	—	—	[17]
1973	—	—	0,3–0,7	1,3–2,9	[19]

* Вычислено по данным, приведенным в статьях Денисова А.К., Денисова С.А. [17], Денисова А.К. и др. [19].

* The calculations were performed using the data presented in the studies by A.K. Denisov, S.A. Denisov [17], and A.K. Denisov, et al. [19].

Важны для обеспечения разноса семян сроки вылета семян. У лиственницы Каяндера в Центральной Якутии это происходит во второй–третьей

декаде августа. Лишь в отдельные дождливые годы сроки могут быть смещены на более позднее время. В других районах Якутии семена у ли-

Таблица 3

Влияние морфометрических показателей семян лиственницы на их полетные качества

Table 3

The influence of morphometric parameters of larch seeds on their flight characteristics

Характеристика семян	Центральная Якутия		Северная Якутия	Западная Якутия	r – коэффициент корреляции с K_f
	Чычымах	Якутск	Молодо	Мирный	
Коэффициент полетных качеств	1,08	1,29	1,20	1,27	
Площадь крыла, мм ²	20,33	22,00	15,20	21,07	0,26
Вес 1000 семян, г	2,60	2,00	1,80	1,50	–0,80
Вес / площадь крыла, г/мм ²	0,13	0,09	0,12	0,07	–0,85

Таблица 4

Скорость полета семян основных древесных пород

Table 4

The flight speed of seeds from the major tree species

Показатель		Древесная порода		
		лиственница Каяндера	сосна обыкновенная	береза плосколистная
Скорость полета (парашютирования) семян по породам	M±m, м/с	1,01±0,03	0,61±0,01	0,50±0,01
	Max, м/с	2,14	0,84	0,79
	Min, м/с	0,72	0,48	0,38
	σ	0,23	0,08	0,08
	V, %	22,8	13,0	16,4
Коэффициент полетных качеств (K_f)		0,99	1,63	2,00
в т.ч. плохо парящих семян		0,47	1,19	1,27
легко парящих семян		1,39	2,08	2,63

Таблица 5

Средняя скорость ветра в разных населенных пунктах Якутии по месяцам, м/с (среднее за 2015–2024 гг.), ([https://yandex.ru/pogoda/...](https://yandex.ru/pogoda/))

Table 5

Average wind speed in various localities of Yakutia by month, measured in meters per second (m/s), averaged over the period 2015-2024 (Source: [https://yandex.ru/pogoda/...](https://yandex.ru/pogoda/))

Населенный пункт	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Центральная Якутия												
г. Якутск	1,9	2,0	2,5	2,8	3,5	2,7	2,5	2,6	2,8	2,5	2,2	1,8
с. Чычымах	1,3	3,5	2,0	2,4	2,7	2,5	2,3	2,3	2,4	2,0	1,5	1,3
Западная Якутия												
г. Мирный	2,8	2,7	2,8	3,0	3,0	2,8	2,6	2,7	2,9	3,0	2,8	2,8
Северная Якутия												
пос. Кюсюр	3,2	3,1	3,2	3,8	3,9	3,9	3,9	3,8	3,6	3,4	3,1	3,1

ственницы Каяндера высыпаются преимущественно в начале–середине сентября. У сосны, березы, лиственниц Гмелина и сибирской ярко выраженных сроков вылета семян нет [5, 8]. Часто весь урожай сохраняется до будущей весны. Большая часть семян высыпается обычно: у бе-

резы – в марте–апреле, лиственниц Гмелина, сибирской и сосны обыкновенной – в июне следующего после созревания семян года.

В лесах среднетаежной и северотаежной подзона Якутии большую часть времени года господствует маловетренная погода (табл. 5). В июне,

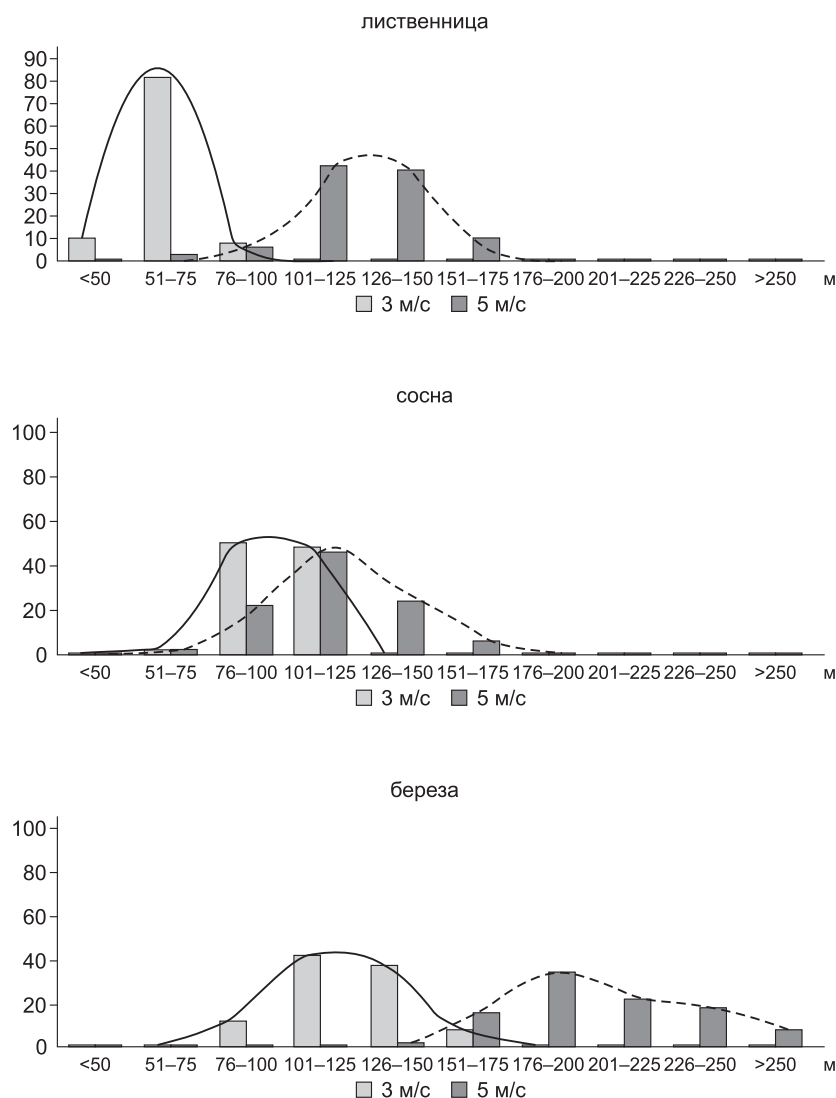


Рис. 2. Распределение семян (в процентах) по дальности разлета семян от деревьев основных лесообразующих пород Якутии при разной скорости ветра

Fig. 2. Distribution of seeds (percentage) by seed range from trees of the major forest-forming species in Yakutia at different wind speeds

когда преимущественно высыпаются семена у сосны обыкновенной и лиственницы Гмелина (г. Мирный), скорость ветра за последние 10 лет (2015–2024 гг.) составила в среднем 2,8 м/с. В августе, когда в Центральной Якутии происходит массовое высыпание у лиственницы Каяндера, этот показатель равен 2,3 (с. Чычымах) и 2,6 м/с (г. Якутск). В зимние месяцы, когда наблюдается разлет семян у березы, скорость ветра не превышает 3,5 м/с. Таким образом, вероятность ветра со скоростью выше 5 м/с в любой из периодов диссеминации изучаемых пород деревьев в условиях большей части Якутии близка к нулю.

Мы рассчитали процентное соотношение семян анемохорных хвойных, «отлетающих» на разное расстояние от семенного дерева при разной скорости ветра (табл. 6). У лиственницы при скорости ветра 3 м/с основная масса семян (90 %) выпадает в зоне 50–100 м от стены леса, у сосны 98 % семян долетает до 76–125 м. При скорости ветра 5 м/с – зона выпадения основной массы семян заметно отдалается – до 100–150 м у лиственницы и сосны.

Полученные расчетным путем данные вполне согласуются с материалами, изложенными в разных литературных источниках. Опыты, проведенные в северной и юго-западной Якутии с семено-

Таблица 6

Расчетная дальность разлета основной массы семян древесных пород при разной скорости ветра.
Окрестности г. Якутск

Table 6

The estimated dispersal distance for the bulk of seeds from tree species at different wind speeds.
Vicinity of Yakutsk

Скорость ветра, м/с	Средняя высота господствующего яруса древостоя, м										
	Лиственница Каяндера										
	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
1	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
2	20	24	28	32	36	40	44	48	52	55	59
3	30	36	42	48	54	59	65	71	77	83	89
4	40	48	55	63	71	79	87	95	103	111	119
5	50	59	69	79	89	99	109	119	129	139	149
6	59	71	83	95	107	119	131	143	155	166	178
7	69	83	97	111	125	139	153	166	180	194	208
8	79	95	111	127	143	159	174	190	206	222	238
9	89	107	125	143	161	178	196	214	232	250	268
10	99	119	139	159	178	198	218	238	258	277	297
	Сосна обыкновенная										
1	16	20	23	26	29	33	36	39	42	46	49
2	33	39	46	52	59	65	72	78	85	91	98
3	49	59	68	78	88	98	107	117	127	137	147
4	65	78	91	104	117	130	143	156	169	182	195
5	81	98	114	130	147	163	179	195	212	228	244
6	98	117	137	156	176	195	215	235	254	274	293
7	114	137	160	182	205	228	251	274	296	319	342
8	130	156	182	208	235	261	287	313	339	365	391
9	147	176	205	235	264	293	322	352	381	410	440
10	163	195	228	261	293	326	358	391	423	456	489
	Береза плосколистная										
1	20	24	20	32	36	40	44	48	52	56	60
2	40	48	56	64	72	80	88	96	104	112	120
3	60	72	84	96	108	120	132	144	156	168	180
4	80	96	112	128	144	160	176	192	208	224	240
5	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300
6	120	144	168	192	216	240	264	288	312	336	360
7	140	168	196	224	252	280	308	336	364	392	420
8	160	192	224	256	288	320	352	384	416	448	480
9	180	216	252	288	324	360	396	432	468	504	540
10	200	240	280	320	360	400	440	480	520	560	600

мерами, расставленными на разных расстояниях от стены леса [23], и пример удачно сложившихся условий изучения дальности разлета по выпавшему снегу [7] показали, что массовый разброс семян лиственницы приходится на удаление 35–60 (100) м от стены леса. Учет самосева сосны, ели и лиственницы, проведенный на забро-

шенной пашне в Олекминском районе (Н.С. Борисов, неопубликованные данные), показал, что основное количество самосева размещается на удалении 40–60 м от стены леса.

Заметно дальше распространяет свои семена береза (рис. 2). У нее 80 % всех семян отлетает на 100–150 м при скорости ветра 3 м/с, при ско-

Таблица 7

**Расчетная максимальная дальность разлета семян древесных пород
при разной скорости ветра. Окрестности г. Якутск**

Table 7

The estimated maximum seed dispersal distance for tree species at different wind speeds. Vicinity of Yakutsk

Скорость ветра, м/с	Средняя высота господствующего яруса древостоя, м										
	Лиственница Каяндера										
	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
1	14	17	19	22	25	28	31	33	36	39	42
2	28	33	39	44	50	56	61	67	72	78	83
3	42	50	58	67	75	83	92	100	108	117	125
4	56	67	78	89	100	111	122	133	145	156	167
5	70	83	97	111	125	139	153	167	181	195	209
6	83	100	117	133	150	167	183	200	217	234	250
7	97	117	136	156	175	195	214	234	253	272	292
8	111	133	156	178	200	222	245	267	289	311	334
9	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375
10	139	167	195	222	250	278	306	334	361	389	417
	Сосна обыкновенная										
1	21	20	23	26	29	33	36	39	42	46	49
2	33	39	46	52	59	65	72	78	85	91	98
3	49	59	68	78	88	98	107	117	127	137	147
4	65	78	91	104	117	130	143	156	169	182	195
5	81	98	114	130	147	163	179	195	212	228	244
6	98	117	137	156	176	195	215	235	254	274	293
7	114	137	160	182	205	228	251	274	296	319	342
8	130	156	182	208	235	261	287	313	339	365	391
9	147	176	205	235	264	293	322	352	381	410	440
10	163	195	228	261	293	326	358	391	423	456	489
	Береза плосколистная										
1	26	32	26	42	47	53	58	63	68	74	79
2	53	63	53	84	95	105	116	126	137	147	158
3	79	95	79	126	142	158	174	189	205	221	237
4	105	126	105	168	189	210	231	252	274	295	316
5	132	158	132	210	237	263	289	316	342	368	395
6	158	189	158	252	284	316	347	379	410	442	473
7	184	221	184	295	331	368	405	442	479	515	552
8	210	252	210	337	379	421	463	505	547	589	631
9	237	284	237	379	426	473	521	568	615	663	710
10	263	316	263	421	473	526	579	631	684	736	789

рости ветра 5 м/с – зона выпадения основной массы семян заметно отдалится до 200–250 м. Исследования подтвердили, что береза является видом с высокими аэродинамическими качествами диаспор [20] и показывает наибольшее расстояние разлета семян. Исследование с помощью семеномеров показало, что основная масса семян этой древесной породы выпадает на

расстоянии до 125–160 м от леса, а значительное их количество обнаруживается и на удалении 350–375 м. Дальность разлета основной массы семян березы определена в 200 м. Исходя из скорости парашютирования семян С.А. Денисов [28] расчетным путем определил, что на территории Марий Эл основная часть семян березы в спелых древостоях высотой 24 м при

средней скорости ветра 3,5 м/с распространяется на расстояние 250 м от стены леса, а березы пушистой – до 175 м. В то же время порывами ветра до 15 м/с семена березы повислой могут разноситься на расстояние до 1 км, а березы пушистой – до 750 м. Б.Е. Чижев и др. [29] на основании плотности самосева березы при разном удалении от стен леса на заброшенной пашне установил, что семена рассеиваются на расстоянии до 125 м, дальше этой величины семена не разлетаются.

На основе проведенных расчетов составлены таблицы распространения основной массы семян (см. табл. 6) и максимальной дальности разлета семян основных древесных пород Якутии с различной высоты (от 10 до 30 м) и при ветре разной скорости (табл. 7). С учетом того, что при высоких скоростях ветра аэродинамические свойства семян нарушаются, расчетная дальность разлета семян при скорости ветра выше 10 м/с не оценена.

Стандартные таблицы для расчета расстояния разлета семян могут быть использованы в практике лесного хозяйства и будут научным обоснованием при проведении лесохозяйственных мероприятий, в частности, лесовозобновительных работ на нарушенных территориях Якутии [30, 31] и сопредельных регионов [32–34].

Заключение

Таким образом, показано, что предложенная формула для вычисления дальности разлета семян, учитывающая полетные качества семян, среднюю высоту древостоя и скорость господствующих во время массового вылета семян ветров, вполне объективно описывает характер разлета семян большинства анемохорных деревьев Якутии. В экспериментах по определению полетных качеств семян лиственницы Каяндера, лиственницы Гмелина, сосны обыкновенной, березы плосколистной показано, что наименее летучи из изученных пород семена лиственницы, затем идут семена сосны и березы. Вычисленные расчетным методом для основных древесных пород Якутии расстояния разлета основной массы семян и максимальной дальности разлета семян с различной высоты (от 10 до 30 м) и при ветре разной скорости позволяют разработать стандартные таблицы, использование которых позволит практически для каждого лесного выдела объективно оценить дальность разлета семян, более точно определить ширину и направление лесосеки с учетом конкретных условий, грамотно подобрать те или иные лесохозяйственные мероприятия.

Список литературы / References

1. Мелехов И.С. *Лесоведение: Учебник для вузов*. М.: Лесная промышленность; 1980. 408 с.
2. Melekhov I.S. *Forestry: Textbook for universities*. Moscow: Lesnaya promyshlennost'; 1980. 408 p. (In Russ.)
3. *Restoration of Boreal and Temperate Forests*. J.A. Stanturf (ed.) 2nd ed. Boca Raton, London, New York: CRC Press, Taylor and Francis Group; 2015. 561 p.
4. Родин А.Р., Родин С.А., Калашникова Е.А. и др. *Лесные культуры. Учебник*. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана; 2020. 210 с.
5. Rodin A.R., Rodin S.A., Kalashnikova E.A., et al. *Forest crops. Textbook*. Moscow: Bauman Moscow State Technical University; 2020. 210 p. (In Russ.)
6. Луферов А.О. Распространение естественного возобновления сосны обыкновенной в зависимости от расстояния до потенциальных источников обсеменения. *Труды БГТУ. Сер. I, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов*. 2022;1(252):26–35.
7. Luferov A.O. Distribution of natural regeneration of Pinus Sylvestris L. depending on the distance to potential seed sources. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*. 2022;1(252):26–35. (In Russ.)
8. Егоров О.В. *Экология и промысел якутской белки*. М.: Изд-во АН СССР; 1961. 266 с.
9. Egorov O.V. *Ecology and fishing of the Yakut squirrel*. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences; 1961. 266 p. (In Russ.)
10. Бельк В.И. Некоторые данные по плодоношению даурской лиственницы в Якутии. В кн.: *Лиственница. Т. 2. Сб. 34*. Красноярск; 1964. С. 144–147.
11. Belyk V.I. Some data on the fruiting of the Daur larch in Yakutia. In: *Larch. V. 2. Coll. 34*. Krasnoyarsk; 1964, pp. 144–147. (In Russ.)
12. Поздняков Л.К. *Даурская лиственница*. М.: Наука; 1975. 312 с.
13. Pozdnyakov L.K. *Daurian larch*. Moscow: Nauka; 1975. 312 p. (In Russ.)
14. Карпель Б.А., Медведева Н.С. *Плодоношение лиственницы даурской в Якутии*. Новосибирск: Наука; 1977. 118 с.
15. Karpel B.A., Medvedeva N.S. *Fruiting of Daurian larch in Yakutia*. Novosibirsk: Nauka; 1977. 118 p. (In Russ.)
16. Исаев А.П., Ситников Н.М. Определение дальности разлета семян лиственницы и сосны. В кн.: *Экология растительного мира Якутии: Материалы научно-практич. конференций молодых ученых*. Якутск; 1992. С. 23–24.
17. Isaev A.P., Sitnikov N.M. Determination of the flight distance of larch and pine seeds. In: *Ecology of the plant world of Yakutia: Materials of scientific and practical conferences of young scientists*. Yakutsk; 1992, pp. 23–24. (In Russ.)
18. Лыткина Л.П., Исаев А.П., Чикидов И.И. Дальность разлета семян лиственницы в лесах Якутии. *Наука и образование*. 2005;2:16–17.
19. Lytkina L.P., Isaev A.P., Chikidov I.I. The distance of dispersal of larch seeds in the forests of Yakutia. *Nauka i Obrazovanie*. 2005;2:16–17. (In Russ.)
20. Барченков А.П., Милютин Л.И., Исаев А.П. Изменчивость семян сибирских видов лиственницы. *Лесоведение*. 2007;2:65–69.
21. Barchenkov A.P., Milyutin L.I., Isaev A.P. Variability of seeds of Siberian larch species. *Lesovedenie*. 2007;2:65–69. (In Russ.)
22. Орешкова Н.В., Барченков А.П. Популяционно-генетическая изменчивость лиственницы Каяндера (Larix са-

- janderi Mayr) в Республике Саха Якутия). *Вестник СВНЦ ДВО РАН*. 2009;1:81–87.
- Oreshkova N.V., Barchenkov A.P. Population and genetic variability of Sajander larch (*Larix cajanderi* Mayr) in the Republic of Sakha Yakutia). *Bulletin of the North-East Science Center FEB RAS*. 2009;1:81–87. (In Russ.)
13. Санников С.Н., Абдуллина Д.С., Петрова И.В. и др. Репродуктивная изоляция и геогеографическая дифференциация популяций *Pinus sylvestris* L. в Якутии. В кн.: *Генетика, экология и география дендропопуляций и ценоэкосистем. Сборник научных трудов*. Екатеринбург: УрО РАН, 2010. С. 39–45.
- Sannikov S.N., Abdullina D.S., Petrova I.V., et al. Reproductive isolation and geogeographic differentiation of populations of *Pinus sylvestris* L. in Yakutia. In: *Genetics, ecology and geography of dendropopulations and cenoecosystems. Collection of scientific works*. Yekaterinburg: Ural Branch of the RAS; 2010, pp. 39–45. (In Russ.)
14. Исаев А.П. Естественная и антропогенная динамика лиственничных лесов криолитозоны (на примере Якутии): Автореф. дисс. ... докт. биол. наук. Якутск, 2011. 52 с.
- Isaev A.P. Natural and anthropogenic dynamics of larch forests of the cryolithozone (on the example of Yakutia): Abstr. ... Diss. Doct. Sci., Yakutsk. 2011. 52 p. (In Russ.)
15. Тимофеев П.А., Исаев А.П., Щербakov И.П. и др. *Леса среднетаежной подзоны Якутии*. Якутск: ЯНЦ СО РАН; 1994. 140 с.
- Timofeev P.A., Isaev A.P., Shcherbakov I.P. et al. *Forests of the middle-slope subzone of Yakutia*. Yakutsk: YaSC SB RAS; 1994. 140 p. (In Russ.)
16. Левина Р.Е. *Способы распространения плодов и семян*. М.: Изд-во Моск. университета; 1957. 360 с.
- Levina R.E. *Fruit and seed dispersal mechanisms*. Moscow: Publ. Moscow University; 1957. 360 p. (In Russ.)
17. Денисов А.К., Денисов С.А. Взаимосвязь аэродинамических и посевных свойств семян сосны и ее влияние на обсеменение вырубков. *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. 1971;4:9–12.
- Denisov A.K., Denisov S.A. The relationship between aerodynamic and sowing properties of pine seeds and its influence on insemination of cuttings. *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*. 1971;4:9–12. (In Russ.)
18. Комарова Т.А. Семенное возобновление растений на свежих гарях (леса Южного Сихотэ-Алиня). Владивосток: ДВНЦ АН СССР; 1986. 221 с.
- Komarova T.A. *Seed regeneration of plants on fresh fields (forests of Southern Sikhote-Alinya)*. Vladivostok: FESC AS USSR; 1986. 221 p. (In Russ.)
19. Денисов А.К., Денисов С.А., Кудрявцев Е.К. Анемохория берез пушистой и бородавчатой. *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. 1973;3:6–9.
- Denisov A.K., Denisov S.A., Kudryavtsev E.K. Anemochoria of the fluffy and warty birch. *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*. 1973;3:6–9. (In Russ.)
20. Евстигнеев О.И., Мурашев И.А., Коротков В.Н. Анемохория и дальность рассеивания семян деревьев восточноевропейских лесов. *Лесоведение*. 2017;1:45–52.
- Evgstigneev O.I., Murashev I.A., Korotkov V.N. Anemochory and dispersal distance of tree seeds of Eastern European forests. *Lesovedenie*. 2017;1:45–52. (In Russ.)
21. Мельник Л.П., Голубенкова Н.В. Дальность диссеминации лиственницы европейской в условиях лесной среды. В кн.: *Аграрная наука – сельскому хозяйству. Сборник материалов XVII Международной научно-практической конференции*. Барнаул; 2022. С. 354–355.
- Melnik L.P., Golubenkova N.V. Dissemination distance of European larch in forest conditions. In: *Agrarian science – agriculture. Collection of materials of the 17th International Scientific and Practical Conference*. Barnaul; 2022, pp. 354–355. (In Russ.)
22. Щербakov И.П., Михалева В.М., Чугунова Р.В. и др. *Формирование растительного покрова в связи с рубками в лесах Юго-Западной Якутии*. Новосибирск: Наука; 1977. 296 с.
- Shcherbakov I.P., Mikhaleva V.M., Chugunova R.V., et al. *Formation of vegetation cover in connection with felling in the forests of South-Western Yakutia*. Novosibirsk: Nauka; 1977. 296 p. (In Russ.)
23. Щербakov И.П., Чугунова Р.В. Леса юго-западных приленских районов Якутии и меры содействия лесовозобновлению на лесосеках и гарях. В кн.: *Материалы о лесах Якутии. Труды ИБ ЯФ СО АН СССР*, вып. 7. М.: Изд-во АН СССР, 1961. С. 5–161.
- Shcherbakov I.P., Chugunova R.V. Forests of the south-western Prilensky districts of Yakutia and measures to promote reforestation on forests and forests. In: *Materials on forests of Yakutia. Proceedings of the IB YAF SO AN USSR*, issue 7. Moscow: Publ. AN USSR; 1961, pp. 5–161. (In Russ.)
24. Орловский С.Н., Карнауков А.И., Войнаш С.А. и др. Дальность разлета семян лиственницы под воздействием силы тяжести, ветрового напора. В кн.: *Сборник I Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы науки и практики в исследованиях молодых ученых»*, Новосибирск, 21–22 мая 2024 г. Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой Колос»; 2024. С. 316–323.
- Orlovsky S.N., Karnaukhov A.I., Voynash S.A., et al. Distance of flight of larch seeds under the influence of gravity, wind pressure. In: *Proceedings of the 1st International Scientific-Practical Conference “Actual Problems of Science and Practice in Research of Young Scientists”* (Novosibirsk, 21–22 May, 2024). Novosibirsk: IC NGAU “Golden Colossus”; 2024, pp. 316–323.
25. Филиппова Н.П. Изучение полетных качеств семян сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*), собранных в лесах Жиганского улуса (Северная Якутия). *Успехи современного естествознания*. 2014;8:26–28.
- Filippova N.P. Study of flight qualities of seeds of common pine (*Pinus sylvestris*) collected in the forests of Zhigansky district (Northern Yakutia). *Advances in Current Natural Sciences*. 2014;8:26–28. (In Russ.)
26. База данных № 2024620821. *Морфометрическая характеристика семян лиственниц Каяндера и Гмелина в Якутии*. Заявка № 2024621713. Дата поступления : 06 мая 2024 г. Номер регистрации : 2024621986. Дата государственной регистрации : 08 мая 2024 г. / Габышева Л.П., Исаев А.П.; заявитель, патентообладатель ИБПК СО РАН.
- Database No 2024620821. *Morphometric characteristics of seeds of larches Kayander and Gmelin in Yakutia*. Application No. 2024621713. Date received : 06 May 2024 Registration Number : 2024621986. Date of State Registration : 08 May 2024 / Gabysheva L.P., Isaev A.P.; applicant, patent holder IBPC SB RAS. (In Russ.)
27. Лыткина Л.П. *Лесовосстановление на гарях Лено-Амгинского междуречья (Центральная Якутия)*. Новосибирск: Наука; 2010. 118 с.
- Lytkina L.P. *Reforestation in the burnt areas of the Lena-Amga interfluvium (Central Yakutia)*. Novosibirsk: Nauka; 2010. 118 p. (In Russ.)
28. Денисов С.А. *Лесоведение. Смена пород: Учеб. пособие*. Йошкар-Ола : Мар. гос. техн. ун-т; 1999. 77 с.

Denisov S.A. *Forestry. Change of species: Textbook for students*. Yoshkar-Ola: Marii state tech. univ; 1999. 77 p. (In Russ.)

29. Чижов Б.Е., Иванова Р.И., Штоль В.А. и др. Особенности семенного возобновления берез повислой *Betula verrucosa* Ehrh. и пушистой *Betula pubescens* Ehrh. в условиях подтайги и лесостепи Западной Сибири. *Сибирский лесной журнал*. 2016;6:49–59

Chizhov B.E., Ivanova R.I., Shtol V.A., et al. Features of seed regeneration of drooping birches *Betula verrucosa* Ehrh. and downy birch *Betula pubescens* Ehrh. in the conditions of subtaiga and forest-steppe of Western Siberia. *Sibirskij Lesnoj Zhurnal (Sib. J. For. Sci.)*. 2016;6:49–59. (In Russ.)

30. Блашкевич О.Х., Горохова Н.Е., Назаров А.А. и др. Оценка лесовосстановления в Республике Саха (Якутия). *Вестник АГТУ*. 2024;4(16):67–137.

Blashkevich O.Kh., Gorokhova N.E., Nazarov A.A., et al. Assessment of reforestation in the Republic of Sakha (Yakutia). *Bulletin of AGATU*. 2024;4(16):67–137. (In Russ.)

31. Шемякина А.В., Голубев Д.А., Гула К.Е., Каюмов Н.А. Оценка естественного возобновления древесных пород на сплошных вырубках в Алданском лесничестве Республики Саха (Якутия). *Природообустройство*. 2025;(3):127–134.

Schemyakina A.V., Golubev D.A., Gula K.E., Kayumov N.A. Assessment of natural regeneration of tree species in clear cuttings in the Aldan forestry of the Republic of Sakha (Yakutia). *Prirodoobustroystvo*. 2025;(3):127–134. (In Russ.)

32. Шемякина А.В. Влияние рубок на лесовосстановление в районах с многолетней мерзлотой и экологические последствия. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*.

2025;17(1):93–112. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-1029>

Shemyakina A.V. The Impact of Logging on Reforestation in Permafrost Areas and Environmental Consequences. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2025;17(1):93–112. (In Russ.). <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-1029>

33. Башегуров К.А., Гавриленко А.Н., Розинкина Е.П. и др. Естественное лесовосстановление на вырубках в северо-таежном равнинном районе Западной Сибири. *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. 2025;(1):58–70. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2025-1-58-70>

Bashegurov K.A., Gavrilenko A.N., Rozinkina E.P., et al. Natural Reforestation in Cleared Areas in the Northern Taiga Plain Region of Western Siberia. *News of Higher Educational Institutions. Forestry Journal*. 2025;(1):58–70. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2025-1-58-70>

34. Кобец Д.Л., Кобец М.Л. Комбинированное лесовосстановление гарей на примере Кавалеровского лесничества, Приморский край. В кн.: *Лесные экосистемы: состояние, проблемы и пути их решения в современных условиях. Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 65-летию Института лесного и лесопаркового хозяйства*. Уссурийск; 2023. С. 29–32.

Kobets D.L., Kobets M.L. Combined Reforestation of Burnt-Out Areas: The Case of Kavalеровskoye Forestry, Primorsky Krai. In: *Forest Ecosystems: Status, Problems, and Solutions in Modern Conditions. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 65th anniversary of the Institute of Forestry and Forest Park Management*. Ussuriysk; 2023, pp. 29–32.

Об авторах

ИСАЕВ Александр Петрович, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0002-4488-0228>, ResearcherID: E-9570-2016, Scopus Author ID: 7101845572, SPIN: 2977-2322, e-mail: alex_isaev@mail.ru

ГАБЫШЕВА Людмила Петровна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0002-0537-2466>, ResearcherID: Q-4246-2016, Scopus Author ID: 57392856500, SPIN: 3705-0179, e-mail: llp77@yandex.ru

ЧИКИДОВ Иван Иванович, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0002-8945-4505>, ResearcherID: AGZ-1498-2022, Scopus Author ID: 57290962800, SPIN: 2121-2053, e-mail: chikidov@rambler.ru

Вклад авторов

Исаев А.П. – разработка концепции, обоснование методологии, проведение исследования, написание и редактирование статьи; **Габышева Л.П.** – верификация данных, проведение исследования, создание черновика рукописи; **Чикидов И.И.** – сбор семенного материала, проведение эксперимента, администрирование проекта, написание черновика рукописи

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

About the authors

ISAEV, Alexander Petrovich, Dr. Sci. (Biol.), Leading Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-4488-0228>, ResearcherID: E-9570-2016, Scopus Author ID: 7101845572, SPIN: 2977-2322, e-mail: alex_isaev@mail.ru

GABYSHEVA, Lyudmila Petrovna, Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-0537-2466>, ResearcherID: Q-4246-2016, Scopus Author ID: 57392856500, SPIN: 3705-0179, e-mail: llp77@yandex.ru

CHIKIDOV, Ivan Ivanovich, Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-8945-4505>, ResearcherID: AGZ-1498-2022, Scopus Author ID: 57290962800, SPIN: 2121-2053, e-mail: chikidov@rambler.ru

Authors' contribution

Isaev A.P. – conceptualization, methodology, investigation, writing – original draft, writing – review & editing; **Gabysheva L.P.** – validation, investigation, writing – original draft; **Chikidov I.I.** – resources, investigation, data curation, writing – original draft

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию / Submitted 08.07.2025

Поступила после рецензирования / Revised 28.10.2025

Принята к публикации / Accepted 14.11.2025