

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОСЕВНЫХ КАЧЕСТВ СЕМЯН СОСНЫ БАНКСА (*PINUS BANKSIANA* LAMB.), ПРОИЗРАСТАЮЩЕЙ НА ПОЧВАХ ЕГОРЬЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ФОСФОРИТОВ, ТРАНСФОРМИРУЮЩИХСЯ ПОД ВЛИЯНИЕМ ПОЖАРОВ

С.Б. Васильев[✉], М.А. Лавренов, О.В. Кормилицына

ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал), Россия, 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1
svasilyev@mgul.ac.ru

Приведены результаты анализа химических свойств верхних супесчаных горизонтов слабообразованных почв Егорьевского месторождения фосфоритов. Представлены значения мощности лесной подстилки, плотности и водопроницаемости данных почв. Охарактеризована ценность сосны Банкса как породы, используемой в целях рекультивации в условиях европейской части России. Выявлены достаточно высокие посевные качества семян сосны Банкса, определенные по их всхожести. Указана возможность использования этих семян для создания региональной семенной базы. Проанализированы морфологические признаки одно- и двухлетних семян (шишек) сосны Банкса. Установлены более высокие значения всхожести семян, собранных с однолетних шишек. Рекомендуется дальнейшее проведение исследований посевных качеств данного вида для последующей интродукции.

Ключевые слова: сосна Банкса, посевные качества семян, рекультивация земель, Егорьевское месторождение фосфоритов

Ссылка для цитирования: Васильев С.Б., Лавренов М.А., Кормилицына О.В. Исследование посевных качеств семян сосны Банкса (*Pinus Banksiana* Lamb.), произрастающей на почвах Егорьевского месторождения фосфоритов, трансформирующихся под влиянием пожаров // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2024. Т. 28. № 2. С. 70–80. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-2-70-80

Сосна Банкса является одной из самых важных коммерческих пород деревьев в Канаде и районе Великих озер США — штаты Висконсин, Пенсильвания, Огайо, Нью-Йорк, Миннесота, Мичиган, Индиана и Иллинойс. Она используется в строительстве, для заготовки балансовой древесины, железнодорожных шпал, столбов и свай [1–3]. Устойчивость сосны Банкса к поражению различными вредителями, быстрый рост в молодом возрасте, хорошая приживаемость на бедных почвах и легкость самовоспроизводства делают ее пригодной для выращивания в целях получения древесины при коротком обороте рубки. Кроме того, сосна Банкса применяется для экстракции эфирных масел, получения ароматических агентов, в частности в парфюмерии, косметологии, а также при производстве чистящих средств [4].

Включение интродуцентов в ассортимент лесных древесных пород при искусственном лесовыращивании — сложный и ответственный шаг, имеющий большое значение при решении лесохозяйственных проблем в области повышения продуктивности лесов и рекультивации ландшафтов [5–13]

Введение сосны Банкса при лесомелиорации Егорьевского месторождения фосфоритов

(Московская обл.) обусловлено ее ботанической характеристикой — высокой неприхотливостью, легкой приспособленностью к климатическим и почвенным условиям, хорошим ростом на бедных почвах, непригодных для выращивания сельскохозяйственных культур и ценных видов древесной растительности, возможностью использования крупных земельных участков, оказавшихся непродуктивными [14].

Наряду с использованием на нарушенных землях сосна Банкса является перспективной породой для создания насаждений, выполняющих защитные функции, в частности ветрозащитных [15] и лесозащитных полос [16], в случаях, когда другие виды древесной растительности не приживаются.

Сосна Банкса не только выдерживает экстремально низкую температуру воздуха, но и процветает в суровых климатических условиях, что подтверждает ее массовое распространение в северной и западной частях Канады и в штате Миннесота [16]. Сосну Банкса можно использовать для озеленения и создания декоративных насаждений [17–24], поскольку ее деревья демонстрируют превосходную форму, исключительную компактность крон, последовательное отхождение боковых ветвей вверх от основного ствола [15].

Однако данная порода не исследуется должным образом, ей посвящено крайне недостаточно литературных работ. Исследования сосны Банкса на Дальнем Востоке, проведенные В.В. Острошенко и Л.Ю. Острошенко, указывают на возможность ее интродукции, высокую декоративность [25]. Ветвящиеся темно-красные или желто-зеленые побеги, изогнутость хвои и шишек сосны Банкса отличают ее от других видов сосны, что определяет ее в качестве ценной породы для зеленого строительства. Быстрый рост в молодом возрасте, высокая устойчивость к низким температурам и болезням, а также нетребовательность к почвенным условиям позволяют считать возможной интродукцию сосны Банкса на Дальний Восток при одновременном изучении особенностей ее выращивания [25].

Актуальность работы обусловлена необходимостью изучения техногенных ландшафтов и особенностей восстановления лесных биогеоценозов на землях, нарушенных открытой добычей фосфатного сырья и дополнительно испытывавших воздействие пожаров.

Кроме того, использование сосны Банкса при рекультивации ландшафтов не распространяется вследствие отсутствия региональных семенных баз, для создания которых необходимо определение семенной продуктивности и качества семян сосны Банкса, что также придает актуальность проведению всесторонних исследований данного вида [26].

Цель работы

Цель работы — исследование посевных качеств семян сосны Банкса, оценка влияния пожаров на свойства рекультивируемых почв Егорьевского месторождения фосфоритов.

Объект исследования

Район проведения исследований расположен в 5-м выделе 50-го квартала Хорловского участкового лесничества (Московская обл.). Насажение представлено сосной Банкса (*Pinus banksiana* Lamb.) и сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Состав древостоя 5С65С. Время посадки 1988 г. Схема посадки 2,6×1,3 м. Тип лесорастительных условий А2. Тип леса сосняк брусничный. Класс пожарной опасности II.

Для оценки пирогенного воздействия на почвы и их свойства были заложены три пробные площадки (ПП) на следующих трех участках:

- 1) не испытывавшем пирогенного воздействия (ПП № 3);
- 2) испытывавшем беглый низовой пожар в 2015 г. (ПП № 1);
- 3) испытывавшем низовой пожар в 2005 г. (ПП № 2).

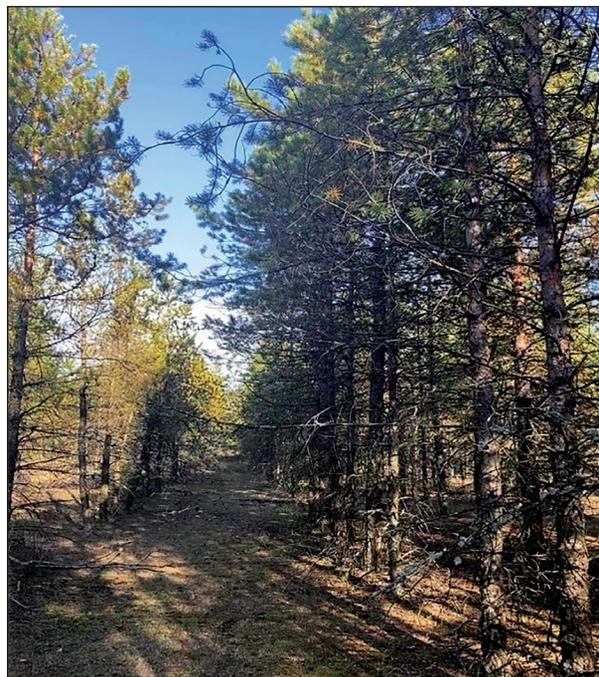


Рис. 1. Объект исследования
Fig. 1. The studied object

На всех ПП было сделано по три почвенных прикопки согласно ГОСТ 17.4.3.01–83, из которых отбирались образцы почв для изучения их физических и химических свойств.

Материалы и методы

Всхожесть и энергию прорастания семян сосны Банкса определяли по ГОСТ 13056.6–97 Семена деревьев и кустарников. Метод определения всхожести. Энергию прорастания семян определяли на 7-й день, всхожесть — на 15-й день.

Для проращивания семян использовали стол Якобсена, состоящий из большой ванны, наполненной водой. Количество воды проверяли через каждые 3...5 дней. На стол установили три пластины для проращивания, выполненные из коррозионностойкой стали, затем алюминиевую раму высотой 120 мм, что обеспечило удобство для проведения работ. Бумажные фильтры, оснащенные сердечниками, раскладывали на столе таким образом, чтобы сердечники входили в отверстия пластин для проращивания. Сердечники впитывают в себя воду и поддерживают фильтрующую бумагу во влажном состоянии. Дозатором, подключенным к отсосу, подцепляли семена и клали их на бумажный фильтр. Колоколообразные чаши устанавливали на каждый бумажный фильтр (рис. 2).

Семена сосны Банкса проращивали при переменной температуре. Воду в аппаратах ежедневно в течение 6 ч подогревали с 24 до 36 °С, вследствие чего температура ложа повышалась с 20 до 30 °С. В оставшееся время вода в аппа-



Рис. 2. Определение всхожести семян сосны Банкса
Fig. 2. Progenity test of Jack Pine seeds

ратах остывала с 36 до 24 °С, эта температура поддерживалась на таком уровне, соответственно, температура ложа — на уровне 20 °С.

Учет результатов проращивания проводили на 3-й, 5, 7, 10, 15-й дни. Началом проращивания считался день, следующий за днем раскладки семян. Каждый день учета нормально проросшие и явно загнившие семена удаляли с ложа и отмечали это в карточке анализа. В день окончательного учета всхожести оставшиеся на ложе семена отдельно по каждой пробе взрезывали вдоль зародыша, определяли число здоровых, ненормально проросших, запаренных, беззародышевых, пустых, зараженных энтомоу вредителями и результаты отмечали в карточке анализа. По окончании проращивания проводили учет всхожести семян, результаты заносили в карточку анализа. По результатам проращивания определяют энергию прорастания и всхожесть для каждой пробы (100 шт.) семян отдельно. Энергию прорастания и всхожесть партии семян устанавливали как среднее арифметическое проращивания отдельных проб семян и выражали в процентах с точностью до целых чисел. Техническую всхожесть определяли как процентное отношение числа проросших семян к числу семян, заложенных на проращивание.

По почвенным прикопкам изучали морфологические свойства генетических горизонтов почвы.

Из физических свойств почвы были изучены плотность и водопроницаемость. Плотность почвы при полевом исследовании определяли путем отбора почвенных образцов специальным цилиндрическим буром из стенок почвенного разреза (методом режущего кольца) в пятикратной повторности. Водопроницаемость верхних минеральных горизонтов в полевых условиях определяли методом трубок с переменным напором воды [27]. Для этого использовали металлические трубки высотой 13 см (3 см трубки погружали в почву, 10 см составляла высота столба воды). Водопроницаемость почвы определяли в 10-кратной повторности.

В ходе исследований определили следующие химические показатели:

– рН водной и солевой суспензии — потенциометрическим методом;

– гидролитическую кислотность почвы (H_p , ммоль/100 г) — по методу Каппена в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26212–91) (ГУ «Центральный научно-исследовательский институт агрохимического обслуживания сельского хозяйства);

– сумму поглощенных оснований (S , ммоль/100 г) — по методу Каппена (ГОСТ 7821–2020);

– емкость катионного обмена (ЕКО, ммоль/100 г) — по методу Бобко — Аскинази — Алешина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 17.4.4.01–84. Группа Т58);

– степень насыщенности почв основаниями (V , %) — расчетным методом;

– содержание подвижных соединений фосфора и калия — по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО (P_2O_5 , K_2O , мг/100 г почвы) (ГОСТ Р 54650–2011);

– содержание аммиачного (NH_4^+ , мг/кг) и нитратного (NO_3^- , мг/кг) азота — фотокolorиметрическим методом;

– содержание органического углерода (С, %) — по методу Тюрина.

При математической обработке материала были применены методы вариационной статистики — рассчитаны основные описательные статистики (для уровня значимости 0,05):

– средняя арифметическая величина M ;

– ошибка средней арифметической величины признака m ;

– среднее квадратическое отклонение для выборки S ;

– коэффициент вариации V , %;

– доверительный интервал для 0,05 уровня значимости;

– показатель точности опыта P , %.

Оценка коэффициента вариации проводилась по методике С.А. Мамаева. Точность опыта считается удовлетворительной в лесохозяйственных исследованиях, если она не превышает 5 %. При значениях точности опыта свыше 5 % рекомендуется заново заложить опыт, при этом необходимо увеличить объем выборки и повысить точность измерений.

Результаты и обсуждение

На промышленных отвалах Егорьевского месторождения фосфоритов в течение 35 лет сформировалась слаборазвитая супесчаная почва. Диагностической особенностью песчаных отложений промышленных отвалов в его пределах является выраженная антропогенная слоистость отложений, вызванная многократным переотложением исходной породы под действием технологической переработки фосфоритного сырья. Профиль слаборазвитой почвы представляет собой песчаные

отложения, покрытые лесной подстилкой различной мощности, под которой залегает песчаная порода, слабо затронутая почвообразовательным процессом. Выделяются следующие горизонты:

О — 0...5 см (мощность 5 см) — лесная подстилка (войлок), хорошо сформированный слой органических остатков разной степени разложения; свежий, рыхлый, темно-серый.

Chf — 5...12 см (мощность 7 см) — почвообразующая порода, затронутая почвообразованием в недостаточной степени, для того чтобы идентифицировать генетический горизонт; свежий, рыхлый, серовато-желтый, перегнойный материал локализован преимущественно в слое до 10 см; супесчаный гранулометрический состав с наличием железистых пленок (единичные пятна); структура неустойчивая комковатая, переход в горизонт D волнистый слабозаметный.

Т а б л и ц а 1

Характеристика лесной подстилки Specifics of forest litter

Параметр	ПП № 1	ПП № 2	ПП № 3
Средняя арифметическая величина признака и ее ошибка ($M \pm m$), см	1,00 ± 0,10	1,33 ± 0,36	2,00 ± 0,14
Среднее квадратическое отклонение для выборки (S), см	0,2	0,4	0,2
Показатель точности опыта (P), %	10,0	13,7	3,5
Коэффициент вариации (V), %;	22,4	30,7	7,9

Т а б л и ц а 2

Характеристика плотности почвы Specifics of soil density

Параметр	Прикопки								
	ПП № 1			ПП № 2			ПП № 3		
	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	3.3
Средняя арифметическая величина признака и ее ошибка ($M \pm m$), г/см ³	1,23 ± 0,06	1,29 ± 0,03	11,29 ± 0,03	1,37 ± 0,01	1,46 ± 0,01	1,34 ± 0,01	1,45 ± 0,02	1,35 ± 0,03	1,46 ± 0,02
Среднее квадратическое отклонение для выборки (S), г/см ³	0,1	0,1	0,1	0,03	0,02	0,04	1,35 ± 0,03	0,1	0,04
Показатель точности опыта (P), %	4,6	2,4	2,5	1,0	0,7	1,1	1,5	2,5	1,0
Коэффициент вариации (V), %;	11,3	5,9	6,1	2,5	1,6	2,7	3,6	6,1	2,5

D — 12...250 см — подстилаящая порода, песчаный, единичные включения конкреций апатита неправильной формы.

Наименьшие значения мощности лесной подстилки и плотности почвы; и увеличение водопроницаемости почвы наблюдаются на участке, подвергшемся в 2015 г. низовому пожару (табл. 1–3).

Из-за высокой вариабельности морфометрических показателей показатель точности опыта в отдельных случаях выходил за пределы 5 %.

Анализ химических свойств верхних супесчаных горизонтов слаборазвитых почв постпирогенных участков показал, что существенные различия с контролем наблюдаются в содержании органического углерода; аммиачного и нитратного азота (табл. 4).

Значительных изменений кислотности, содержания доступных форм фосфора и калия в почве на постпирогенных участках по сравнению с контролем не выявлено.

Таким образом, почвенные исследования показали, что на промышленных отвалах Егорьевского

Т а б л и ц а 3

Характеристика водопроницаемости почв Specifics of soil water permeability

Параметр	ПП № 1	ПП № 2	ПП № 3
Средняя арифметическая величина признака и ее ошибка ($M \pm m$), см/мин	1,73 ± 0,06	1,53 ± 0,03	0,73 ± 0,07
Среднее квадратическое отклонение для выборки (S), см/мин	0,2	0,1	0,2
Показатель точности опыта (P), %	3,7	2,2	9,0
Коэффициент вариации (V), %;	10,4	6,1	25,6

месторождения фосфоритов сформировалась супесчаная слаборазвитая почва. Низовой пожар воздействовал прежде всего на содержание в ней органического вещества.

Т а б л и ц а 4

Значения показателей химических свойств почвы
Values of soil chemical properties

Показатель	pH водной суспензии (pH _{H2O})	pH солевой суспензии (pH _{KCl})	Гидролитическая кислотность почвы (H), ммоль/100 г	Сумма поглощенных оснований (S), ммоль/100 г	Емкость катионного обмена (ЕКО), ммоль/100 г	Степень насыщенности почв основаниями (V), %	Содержание аммиачного и нитратного азота (NO ₃ ⁻ + NH ₄ ⁺), мг/кг	Содержание подвижных соединений фосфора (P ₂ O ₅), мг/100 г почвы	Содержание подвижных соединений калия (K ₂ O), мг/100 г почвы	Содержание органического углерода (С), %
ПП № 1										
Средняя арифметическая величина признака и ее ошибка (<i>M ± m</i>)	5,86 ± 0,17	5,34 ± 0,14	1,54 ± 0,01	4,00 ± 0,11	5,54 ± 0,1	72,16 ± 0,7	0,46 ± 0,01	8,07 ± 0,14	4,00 ± 0,06	0,39 ± 0,01
Среднее квадратическое отклонение для выборки (<i>S</i>)	0,4	0,3	0,03	0,2	0,2	1,6	0,02	0,3	0,1	0,02
Показатель точности опыта (<i>P</i>), %	3,0	2,6	0,9	2,7	1,8	1,0	2,0	1,7	1,5	2,2
Коэффициент вариации (<i>V</i>), %	6,6	5,8	1,9	6,1	3,9	2,2	4,4	3,8	3,4	4,9
ПП № 2										
Средняя арифметическая величина признака и ее ошибка (<i>M ± m</i>)	6,4 ± 0,16	5,7 ± 0,25	1,43 ± 0,16	4,3 ± 0,09	5,73 ± 1,11	74,94 ± 1,3	0,67 ± 0,01	7,4 ± 0,67	4,0 ± 0,2	0,65 ± 0,02
Среднее квадратическое отклонение для выборки (<i>S</i>)	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	1,5	0,01	0,2	0,2	0,01
Показатель точности опыта (<i>P</i>), %	0,9	1,6	4,0	0,7	1,4	0,9	0,7	1,8	1,8	1,0
Коэффициент вариации (<i>V</i>), %	2,0	3,6	8,9	1,6	3,0	2,1	1,6	4,0	4,0	2,3
ПП № 3										
Средняя арифметическая величина признака и ее ошибка (<i>M ± m</i>)	6,12 ± 0,42	5,32 ± 0,55	1,79 ± 0,06	5,05 ± 0,06	6,84 ± 0,07	73,87 ± 0,74	1,1 ± 0,08	7,82 ± 0,19	4,0 ± 0,16	0,82 ± 0,13
Среднее квадратическое отклонение для выборки (<i>S</i>)	0,3	0,4	0,1	0,1	0,1	0,6	0,1	0,2	0,1	0,1
Показатель точности опыта (<i>P</i>), %	2,5	3,7	1,2	0,4	0,4	0,4	2,5	0,9	1,5	2,0
Коэффициент вариации (<i>V</i>), %	5,6	8,3	2,6	1,0	0,8	0,8	5,6	1,9	3,3	12,3

Т а б л и ц а 5

Основные показатели роста сосны Банкса и сосны обыкновенной в смешанных культурах на Егорьевском месторождении фосфатов

Jack Pine and Scots Pine main growth parameters in mixed crops in the Egor'yevsk pebble-phosphate field

Возраст культур, лет	Состав дровостоя	Высота, м	Диаметр ствола, см
12	5С	4,0	5,4
	5С _б	4,45	6,1
21	5С	6,2	9,5
	5С _б	5,2	8,1
25	5С	6,9	10,1
	5С _б	5,8	8,5

Т а б л и ц а 6

Посевные качества семян сосны Банкса
Sowing qualities of Jack Pine seeds

Семена	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %
Однолетние шишки 2009 г.	65	83
Двухлетние шишки 2008 г.	14	26
Шишки 2013 г.	однолетние	68
	двухлетние	26
Шишки 2014 г.	однолетние	62
	двухлетние	33
Шишки 2019 г.	однолетние	64
	двухлетние	25
		70
		44

На участке, подвергшемся пожару в 2015 г., лесная подстилка имеет наименьшую мощность и наименьшее содержание органического углерода. Здесь были изучены показатели роста сосны Банкса (C_6) и сосны обыкновенной (C) (табл. 5).

Из табл. 5 видно, что в возрасте 12 лет на исследуемом участке сосна Банкса опережает сосну обыкновенную по высоте на 11 % и по диаметру ствола — на 13 %. Однако к 20 годам сосна Банкса начинает уступать в росте сосне обыкновенной.

Полученные нами результаты согласуются с данными других исследований, что подтверждает быстрые темпы роста сосны Банкса в молодом возрасте.

Так, например, на черноземе лесостепной станции в Липецкой области сосна Банкса до 10...12 лет являлась самой быстрорастущей из культивируемых здесь сосен. В возрасте 18...20 лет сосна обыкновенная догоняла ее по высоте и быстро перерастала. На Обливском опытном лесомелиоративном пункте в Ростовской области в смешанных культурах на легких супесях сосна Банкса до 30 лет росла так же, как и сосна обыкновенная, однако во время сильных засух массово усыхала [28].

Нами получены результаты исследования посевных качеств семян (рис. 3), собранных с однолетних и двулетних шишек сосны Банкса (табл. 6). Предварительная подготовка семян перед проращиванием не проводилась, согласно ГОСТ 13056.6–97, где указано, что в этом нет необходимости.

Некоторые авторы утверждают, что семена сосны Банкса не требуют стратификации [29, 30]. Например, Р. Линсдей [31] согласно результатам проведенных им исследований, указывает, что для сосны Банкса стратификация по итоговым числам всхожести не предпочтительна. Однако скорость прорастания оказалась статистически выше после 14-дневной стратификации со средним увеличением на 3,7 дня. Анализ данных показал, что для сосны Банкса в большинстве популяций провинции Альберта в Канаде не зафиксирован значительный период покоя. Тем не менее всегда имеется, вероятно, неглубокий покой, как указывает автор, что влияет в основном на скорость прорастания. Он может уменьшаться с помощью коротких процедур холодной стратификации. 14-дневная холодная стратификация семян сосны Банкса, по-видимому, наилучший метод для обеспечения быстрого прорастания и более равномерного возраста сеянцев, заключает Р. Линсдей [31].

Из табл. 6 видно, что всхожесть и энергия прорастания семян, собранных с однолетних шишек сосны Банкса значительно превышает всхожесть семян, извлеченных из двулетних шишек.



Рис. 3. Проростки семян сосны Банкса
Fig. 3. Jack Pine germs

Большое количество производимых семян и высокий средний процент всхожести, свойственный сосне Банкса, в некоторой степени объясняют ее широкое распространение и быстрое возобновление на гарях.

Семена в закрытых шишках сохраняют высокую всхожесть не менее 5 лет; даже через 20 лет средняя всхожесть семян может достигать 50 %, как указывают авторы при исследовании посевных качеств семян сосны Банкса в естественных условиях произрастания [32]. Так, например, С. Мерсье, Т. Мориссетт и Д. Бланшетт [33] пришли к выводу, что возраст шишки не влияет на жизнеспособность семян до 6 лет включительно. Однако в некоторых работах указывается на значительное снижение всхожести семян с увеличением возраста шишек. Наибольшую всхожесть показали семена в шишках возрастом до 4 лет [34].

В ходе проведенных нами исследований во всех случаях наблюдалось значительное снижение всхожести семян с увеличением возраста шишек.

Нами получены результаты исследования морфологических признаков шишек сосны Банкса, используемых для получения семян (табл. 7).

Таким образом, на нарушенных землях Егорьевского месторождения фосфоритов у сосны Банкса формируются шишки нормального присутствующего данному виду размера — от 3,5 до 5 см длиной, от 2 до 2,5 см шириной. Однако с увеличением возраста древостоя наблюдается уменьшение массы шишек и числа семян в шишках сосны Банкса.

Биометрические показатели шишек сосны Банкса

Biometric indicators of Jack Pine cones

Семена	Длина, см	Диаметр, см	Масса шишки, г	Масса шишки после сушки, г	Количество семян в шишке, шт.
Однолетние шишки 2009 г.	4,79	1,99	10,1	7,66	31,9
Двухлетние шишки 2008 г.	4,63	2,08	9,27	7,95	42,5
Шишки 2013 г.					
однолетние	4,26	2,10	8,62	7,40	15,6
двухлетние	4,10	1,97	6,76	5,71	8,62
Шишки 2014 г.					
однолетние	4,30	1,83	6,80	5,68	16,45
двухлетние	4,38	1,91	6,95	6,25	16,41
Шишки 2019 г.					
однолетние	4,49	2,05	8,19	7,48	20,55
двухлетние	3,54	1,72	5,03	4,19	10,89

Эти результаты в некоторой степени подтверждают теорию о том, что при наличии ограниченных ресурсов растение может направить имеющиеся ресурсы на производство меньшего количества более крупных семян или большего количества более мелких семян [35].

Выводы

Выявлены достаточно высокие посевные качества семян сосны Банкса, что указывает на возможность ее дальнейшего использования при рекультивации техногенных ландшафтов.

Семена, полученные из насаждений сосны Банкса, адаптированной к условиям Егорьевского месторождения фосфоритов, можно использовать для создания региональной семенной базы, используемой для выращивания лесных культур при дальнейшей рекультивации земель на территории европейской части России.

Для сбора семян сосны Банкса, произрастающей в пределах Егорьевского месторождения фосфатов, следует использовать однолетние шишки, всхожесть которых на 138...319 % выше по сравнению с двухлетними.

Пройденный пожар не оказал существенного влияния на последующую всхожесть семян сосны Банкса — через 5 лет после пожара всхожесть оказалась не ниже, чем в 2013 и 2014 гг., что объясняется быстрым размножением сосны Банкса после вырубок и пожаров.

Список литературы

- [1] Hosie R.C. Native trees of Canada. Ontario: 8th ed. Fitzhenry & Whiteside Ltd, 1979, p. 380.
- [2] Cayford J.H., McRae D.J. The ecological role of fire in jack pine forests // The role of fire in northern circumpolar ecosystems. Chichester, England: John Wiley & Sons Ltd., 1983, pp. 183–199.
- [3] Law K.N., Valade J.L. Status of the utilization of jack pine (*Pinus banksiana*) in the pulp and paper industry // Canadian J. of Forest Research 24, 1994, pp. 2078–2084

- [4] Maries R., Clavelie C., Monteleone L., Tays N., Burns D. Aboriginal plant use in Canada's northwest boreal forest // Natural Resources Canada, Canadian Forest Service. Vancouver: University of British Columbia Press, 2000, 368 p.
- [5] Братилова Н.П., Матвеева Р.Н., Пастухова А.М., Шишова Ю.С., Гришлова М.В., Борчакова М.С., Коновалова Д.А. Интродукция сосны кедровой корейской на юге средней Сибири // Хвойные бореальной зоны, 2019. Т. 37, № 3–4. С. 209–213.
- [6] Гаврилова О.И., Грязькин А.В., Кабонен А.В., Иоффе А.О. Оценка результатов интродукции сосны кедровой сибирской в условиях Южной Карелии // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование, 2022. № 2(54). С. 6–14.
- [7] Неженцева Т.В. Итоги и перспективы интродукции рододового комплекса *Pinus L.* в Ставропольском ботаническом саду // Вестник АПК Ставрополя, 2019. № 2. С. 70–73.
- [8] Кищенко И.Т. Сезонное развитие и перспективность интродуцированных видов *Pinus L.* в таежной зоне (Карелия) // Вестник Пермского университета. Серия Биология, 2021. № 3. С. 149–157.
- [9] Кищенко И.Т. Оценка перспективности интродукции видов *Abies Mill.* в таежной зоне (Карелия) // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки, 2020. № 3. С. 42–55
- [10] Есичев А.О., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Кентбаев Е.Ж., Кентбаева Б.А. Внутривидовая изменчивость состояния ксилемы побегов лиственницы сибирской при интродукции в Нижегородскую область // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование, 2021. № 3 (51). С. 28–40.
- [11] Гончарова О.А., Полоскова Е.Ю., Зотова О.Е., Липпонен И.Н. Некоторые вопросы оценки жизнеспособности лиственных древесных интродуцентов на Кольском Севере // Вестник Иркутской государственной сельскохозяйственной академии, 2020. № 97. С. 13–23.
- [12] Кищенко И.Т., Тренин В.В. Развитие мужского гаметофита интродуцированных видов ели (*Picea A. Dietr.*) в таежной зоне (Карелия) // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование, 2020. № 1 (45). С. 44–50.

- [13] Кузьмина Н.М. Декоративные древесные интродуценты в санаторно-курортной зоне на примере санатория «Металлург», г. Ижевск // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии, 2019. № 4. С. 53–56
- [14] Safety Assessment of Transgenic Organisms, Volume 3: OECD Consensus Documents, Harmonisation of Regulatory Oversight in Biotechnology. Paris: OECD Publishing, 2010, 324 p.
- [15] Sprackling John A., Read. Ralph A. Jack pine provenance study in eastern Nebraska. Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, U.S. Department of Agriculture, 1975, p. 8.
- [16] Elwes H.J., Henry A. The Trees of Great Britain and Ireland // Cambridge Library Collection – Botany and Horticulture. Cambridge: Cambridge University Press, 2014, 456 p.
- [17] Мкртчян М.А., Путенихин В.П. Биологические особенности сосны Банкса, веймутовой и желтой при интродукции в Башкирском Предуралье // Вестник Челябинского государственного университета, 2013. № 7. С. 185–186.
- [18] Шошин В.И., Маркина З.Н., Приставка И.А. Влияние лесорастительных свойств дерново-подзолистых почв зеленой зоны поселений Брянской области на рост сосновых видов // Лесотехнический журнал, 2014. № 1. С. 103–112.
- [19] Неженцева Т.В. Итоги и перспективы интродукции родового комплекса *Pinus L.* в Ставропольском ботаническом саду // Вестник АПК Ставрополя, 2019. № 2. С. 70–73.
- [20] Манаенков А.С., Ложкина О.В. Повышение эффективности лесной мелиорации эродированных земель северной лесостепи // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование, 2018. № 2 (38). С. 74–83.
- [21] Мамаев А.А., Жемкова Е.С. Выращивание сеянцев сосны Банкса в ботаническом саду-институте ПГТУ // Научные вести, 2020. № 1(18). С. 80–83.
- [22] Габеев В.Н., Габеева З.П. Качество шишек и семян сосны Банкса в дендрарии Северо-Осетинского университета в г. Владикавказе // Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений, 2009. Т. XII. С. 20–24.
- [23] Торчик В.И., Кондратов Е.В. Жизнеспособность пыльцы спонтанных соматических мутаций пихты корейской (*Abies koreana* Wils.) и сосны Банкса (*Pinus banksiana* Lamb.) // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия биологических наук, 2016. № 2. С. 22–26.
- [24] Путенихин В.П., Шарипова М.Ю., Дубовик И.Е., Хазихметов Р.М. Лесоводственные особенности некоторых североамериканских сосен при интродукции в Башкирском Предуралье // Естественные и технические науки, 2019. № 10(136). С. 177–180.
- [25] Острошенко В.В., Острошенко Л.Ю. Влияние стимуляторов на всхожесть семян и рост сеянцев сосны Банкса (*Pinus banksiana* Lamb.) // Вестник Красноярского государственного аграрного университета, 2011. № 11. С. 85–92.
- [26] Репин Е.Н., Попков Б.В. Биологические исследования на Горнотаежной станции. Владивосток: Изд-во Горнотаежной станции ДВО РАН, 2004. Вып. 9. С. 124–135.
- [27] Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
- [28] Ревяко И.И. Лесные культуры. Проектирование и создание лесных насаждений. Новочеркасск: Новочеркасская ГМА, 2013. 167 с.
- [29] de Groot W.J., Bothwell P.M., Taylor S.W., Wotton B.M., Stocks B.J., Alexander M.E. Jack pine regeneration and crown fires // Canadian J. of Forest Research 34 (8), 2004, pp. 1634–1641.
- [30] Yeatman C.W. The genetic basis of jack pine management. Jack Pine Symposium. Canadian Forest Service, Great Lakes Forest Research Centre, COFJRC Symposium Proceedings, 1984, pp. 1–12.
- [31] Lindsay R. Seed Matters 5: Lodgepole and Jack Pine Seed Treatments for Greenhouse Sowing. Alberta Agriculture and Forestry, Government of Alberta, 2020, pp. 1–9.
- [32] Cayford J.H., McRae D.J. The ecological role of fire in jack pine forests // Role of Fire in Northern Circumpolar Ecosystems. New York, NY: John Wiley and Sons, 322 p.
- [33] Mercier S., Morissette T., Blanchette D. Evaluation des cônes de pin gris en vue de la récolte de semences de qualité. Gouvernement du Québec, Ministère des Forêts, Direction de la recherche, 1991, pp. 1–42.
- [34] Ahlgren C.E. Some effects of prescribed burning on Jack Pine reproduction in northeastern Minnesota. University of Minnesota, Agricultural Experiment Station, Miscellaneous Report 94, Forestry Series 5, 1970, 16 p.
- [35] Harper J., Lovell E., Moore K. The shapes and sizes of seeds // Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 1970, pp. 327–356.

Сведения об авторах

Васильев Сергей Борисович  — канд. с.-х. наук, зав. кафедрой ЛТ-1, ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал), svasilyev@mgul.ac.ru

Лавренов Максим Александрович — канд. с.-х. наук, доцент кафедры ЛТ-1, ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал), lavrenov@mgul.ac.ru

Кормилицына Ольга Васильевна — канд. с.-х. наук, доцент кафедры ЛТ-1, ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал), ovkorm68@yandex.ru

Поступила в редакцию 26.06.2023.

Одобрено после рецензирования 13.12.2023.

Принята к публикации 06.02.2024.

PROGENITY TEST OF JACK PINE (*PINUS BANKSIANA* LAMB.) SEEDS GROWING IN EGORYEVSK PEBBLE-PHOSPHATE FIELD TRANSFORMED UNDER PYROGENIC FACTOR

S.B. Vasiliev , **M.A. Lavrenov**, **O.V. Kormilitsyna**

BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

svasilyev@mgul.ac.ru

The article presents the study results of Jack pine growing on the disturbed soils of the Egoryevsk pebble-phosphate field in the European part of Russia. The Jack pine is a valuable species for recultivation purposes in the conditions of the European part of Russia, in this regard, the progenity tests of this species is necessary for its further introduction. As a result of determining the germination ability of seeds, sufficiently high germinative capacity was revealed, which indicates the possibility of using them to create a regional seed base.

Keywords: Jack pine, germination ability of seeds, land recultivation, Egoryevsk pebble-phosphate field

Suggested citation: Vasiliev S.B., Lavrenov M.A., Kormilitsyna O.V. *Issledovanie posevnykh kachestv semyan sosny Banksa (Pinus Banksiana Lamb.), proizrastayushchey na pochvakh Egor'evskogo mestorozhdeniya fosforitov, transformiruyushchikhsya pod vliyaniem pozharov* [Progenity test of Jack pine (*Pinus Banksiana* Lamb.) seeds growing in Egoryevsk pebble-phosphate field transformed under pyrogenic factor]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 2, pp. 70–80. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-2-70-80

References

- [1] Hosie R.C. Native trees of Canada. Ontario: 8th ed. Fitzhenry & Whiteside Ltd, 1979, p. 380.
- [2] Cayford J.H., McRae D.J. The ecological role of fire in jack pine forests. The role of fire in northern circumpolar ecosystems. Chichester, England: John Wiley & Sons Ltd., 1983, pp. 183–199.
- [3] Law K.N., Valade J.L. Status of the utilization of jack pine (*Pinus banksiana*) in the pulp and paper industry. *Canadian J. of Forest Research* 24, 1994, pp. 2078–2084
- [4] Maries R., Clavelie C., Monteleone L., Tays N., Burns D. Aboriginal plant use in Canada's northwest boreal forest. *Natural Resources Canada, Canadian Forest Service*. Vancouver: University of British Columbia Press, 2000, 368 p.
- [5] Bratilova N.P., Matveeva R.N., Pastukhova A.M., Shimova Yu.S., Grishlova M.V., Borchakova M.S., Konovalova D.A. *Introduktsiya sosny kedrovoy koreyskoy na yuge sredney Sibiri* [Introduction of Korean cedar pine in the south of Central Siberia]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Conifers of the boreal zone], 2019, t. 37, no. 3–4, pp. 209–213.
- [6] Gavrilova O.I., Gryaz'kin A.V., Kabonen A.V., Ioffe A.O. *Otsenka rezul'tatov introduktsii sosny kedrovoy sibirskoy v usloviyakh Yuzhnoy Karelii* [Evaluation of the results of the introduction of Siberian cedar pine in the conditions of South Karelia]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta*. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie [Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Forest. Ecology. Nature Management], 2022, no. 2(54), pp. 6–14.
- [7] Nezhentseva T.V. *Itogi i perspektivy introduktsii rodovogo kompleksa Pinus L. v Stavropol'skom botanicheskom sadu* [Results and prospects of the introduction of the *Pinus L.* generic complex in the Stavropol Botanical Garden]. *Vestnik APK Stavropol'ya* [Bulletin of the AIC of Stavropol], 2019, no. 2, pp. 70–73.
- [8] Kischenko I.T. *Sezonnoe razvitiye i perspektivnost' introdutsirovannykh vidov Pinus L. v taezhnoy zone (Kareliya)* [Seasonal development and prospects of introduced *Pinus L.* species in the taiga zone (Karelia)]. *Vestnik Permskogo universiteta*. Seriya Biologiya [Bulletin of Perm University. Series Biology], 2021, no. 3, pp. 149–157.

- [9] Kischenko I.T. *Otsenka perspektivnosti introduktsii vidov Abies Mill. v taezhnoy zone (Kareliya)* [Assessment of the prospects for the introduction of *Abies Mill.* species. in the taiga zone (Karelia)] *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki* [News of higher educational institutions. Volga region. Natural Sciences], 2020, no. 3, pp. 42–55.
- [10] Esichev A.O., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Kentbaev E.Zh., Kentbaeva B.A. *Vnutrividovaya izmenchivost' sostoyaniya ksilemy pobegov listvennitsy sibirskoy pri introduktsii v Nizhegorodskuyu oblast'* [Intraspecific variability of the xylem state of Siberian larch shoots during introduction to the Nizhny Novgorod region]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie* [Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Forest. Ecology. Nature Management], 2021, no. 3 (51), pp. 28–40.
- [11] Goncharova O.A., Poloskova E.Yu., Zotova O.E., Lipponen I.N. *Nekotorye voprosy otsenki zhiznesposobnosti listvennykh drevesnykh introdutsentov na Kol'skom Severe* [Some issues of assessing the viability of deciduous tree introducers in the Kola North]. *Vestnik Irkutskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Bulletin of the Irkutsk State Agricultural Academy], 2020, no. 97, pp. 13–23.
- [12] Kischenko I.T., Trenin V.V. *Razvitie muzhskogo gametofita introdutsirovannykh vidov eli (Picea A. Dietr.) v taezhnoy zone (Kareliya)* [Development of male gametophyte of introduced spruce species (*Picea A. Dietr.*) in the taiga zone (Karelia)]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie* [Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Forest. Ecology. Nature Management], 2020, no. 1(45), pp. 44–50.
- [13] Kuzmina N.M. *Dekorativnye drevesnye introdutsenty v sanatorno-kurortnoy zone, na primere sanatoriya Metallurg, g. Izhevsk* [Decorative wood introducers in the sanatorium-resort area, on the example of the Metallurg sanatorium, Izhevsk]. *Vestnik Izhevskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Bulletin of the Izhevsk State Agricultural Academy], 2019, no. 4, pp. 53–56.
- [14] Safety Assessment of Transgenic Organisms, Volume 3: OECD Consensus Documents, Harmonisation of Regulatory Oversight in Biotechnology, OECD Publishing, Paris, 2010, 324 p.
- [15] Sprackling John A., Read. Ralph A. Jack pine provenance study in eastern Nebraska. Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, U.S. Department of Agriculture, 1975, p. 8.
- [16] Elwes H.J., Henry A. *The Trees of Great Britain and Ireland*. Cambridge Library Collection – Botany and Horticulture. Cambridge: Cambridge University Press, 2014, 456 p.
- [17] Mkrtychyan M.A., Putenikhin V.P. *Biologicheskie osobennosti sosny Banksa, veymutovoy i zheltoy pri introduktsii v Bashkirskom Predural'e* [Biological features of Banks, Weimut and yellow pine during introduction in the Bashkir Urals]. *Vestnik Chelyabinskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Chelyabinsk State University], 2013, no. 7, pp. 185–186.
- [18] Shoshin V.I., Markina Z.N., Pristavko I.A. *Vliyanie lesorastitel'nykh svoystv dernovo-podzolistykh pochv zelenoy zony poseleniy Bryanskoy oblasti na rost sosnovykh vidov* [Influence of forest-growing properties of sod-podzolic soils of the green zone of settlements of the Bryansk region on the growth of pine species]. *Lesotekhnicheskiy zhurnal* [Forestry Journal], 2014, no. 1, pp. 103–112.
- [19] Nezhentseva T.V. *Itogi i perspektivy introduktsii rodovogo kompleksa Pinus L. v Stavropol'skom botanicheskom sadu* [Results and prospects of the introduction of the *Pinus L.* generic complex in the Stavropol Botanical Garden] *Vestnik APK Stavropol'ya* [Bulletin of the AIC of Stavropol], 2019, no. 2, pp. 70–73.
- [20] Manaenkov A.S., Lozhkina O.V. *Povyshenie effektivnosti lesnoy melioratsii erodirovannykh zemel' Severnoy lesostepi* [Improving the efficiency of forest reclamation of eroded lands of the Northern forest Steppe]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie* [Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Forest. Ecology. Nature Management], 2018, no. 2 (38), pp. 74–83.
- [21] Mamaev A.A., Zhemkova E.S. *Vyrashchivanie seyantsev sosny Banksa v botanicheskom sadu-institute PGU* [Growing seedlings of Banks pine in the Botanical garden-Institute of PSTU]. *Nauchnye vesti* [Scientific News], 2020, no. 1(18), pp. 80–83.
- [22] Gabeev V.N., Gabeeva Z.P. *Kachestvo shishek i semyan sosny Banksa v dendrarii Severo-Osetinskogo universiteta v G. Vladikavkaze* [The quality of cones and seeds of Banks pine in the arboretum of the North Ossetian University in Vladikavkaz]. *Plodovodstvo, semenovodstvo, introduktsiya drevesnykh rasteniy* [Fruit growing, seed production, introduction of woody plants], 2009, v. XII, pp. 20–24.
- [23] Torchik V.I., Kondratov E.V. *Zhiznesposobnost' pyl'tsy spontannykh somaticheskikh mutatsiy pikhty koreyskoy (Abies koreana Wils.) i sosny Banksa (Pinus banksiana Lamb.)* [Viability of pollen of spontaneous somatic mutations of Korean fir (*Abies koreana Wils.*) and Banks pine (*Pinus banksiana Lamb.*)] *Izvestiya Natsional'noy akademii nauk Belarusi. Seriya biologicheskikh nauk* [News of the National Academy of Sciences of Belarus. Series of biological sciences], 2016, no. 2, pp. 22–26.
- [24] Putenikhin V.P., Sharipova M.Yu., Dubovik I.E., Khaziakhmetov R.M. *Lesovodstvennye osobennosti nekotorykh severoamerikanskikh sosen pri introduktsii v Bashkirskom Predural'e* [Forestry features of some North American pines during introduction in the Bashkir Urals]. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki* [Natural and technical sciences], 2019, no. 10(136), pp. 177–180.
- [25] Ostroshenko V.V., Ostroshenko L.Yu. *Vliyanie stimulyatorov na vskhozhest' semyan i rost seyantsev sosny Banksa (Pinus banksiana Lamb.)* [The effect of stimulants on seed germination and seedling growth of Banks pine (*Pinus banksiana Lamb.*)]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University], no. 11, 2011, pp. 85–92.
- [26] Repin E.N., Popkov B.V. *Biologicheskie issledovaniya na Gornotaezhnoy stantsii* [Biological research at the mountain-taiga station]. *Vladivostok: Mountain-taiga Station of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences* [Mountain taiga station FEB RAS], 2004, no. 9, pp. 124–135.

- [27] Vadyunina A.F., Korchagina Z.A. *Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochv* [Methods of investigation of physical properties of soils]. Moscow: Agropromizdat, 1986, 416 p.
- [28] Revyako I.I. *Lesnye kul'tury. Proektirovanie i sozdanie lesnykh nasazhdeniy* [Forest crops. Design and creation of forest plantations]. Novocherkassk State Medical Academy, 2013, 167 p.
- [29] de Groot W.J., Bothwell P.M., Taylor S.W., Wotton B.M., Stocks B.J., Alexander M.E. Jack pine regeneration and crown fires. *Canadian J. of Forest Research* 34 (8), 2004, pp. 1634–1641.
- [30] Yeatman C.W. The genetic basis of jack pine management. Jack Pine Symposium. Canadian Forest Service, Great Lakes Forest Research Centre, COFJRC Symposium Proceedings, 1984, pp. 1–12.
- [31] Lindsay R. Seed Matters 5: Lodgepole and Jack Pine Seed Treatments for Greenhouse Sowing. Alberta Agriculture and Forestry, Government of Alberta, 2020, pp. 1–9.
- [32] Cayford J.H., McRae D.J. The ecological role of fire in jack pine forests. *Role of Fire in Northern Circumpolar Ecosystems*. New York, NY: John Wiley and Sons, 322 p.
- [33] Mercier S., Morissette T., Blanchette D. Evaluation des cônes de pin gris en vue de la récolte de semences de qualité. Gouvernement du Québec, Ministère des Forêts, Direction de la recherche, 1991, pp. 1–42.
- [34] Ahlgren C.E. Some effects of prescribed burning on Jack Pine reproduction in northeastern Minnesota. University of Minnesota, Agricultural Experiment Station, Miscellaneous Report 94, Forestry Series 5, 1970, 16 p.
- [35] Harper J., Lovell E., Moore K. The shapes and sizes of seeds. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 1970, pp. 327–356.

Authors' information

Vasiliev Sergey Borisovich ✉ — Cand. Sc. (Agriculture), Head of the Department LT-1, BMSTU (Mytishchi branch), svasilyev@mgul.ac.ru

Lavrenov Maksim Aleksandrovich — Cand. Sc. (Agriculture), Associate Professor of the Department LT-1, BMSTU (Mytishchi branch), lavrenov@mgul.ac.ru

Kormilitsyna Ol'ga Vasil'evna — Cand. Sc. (Agriculture), Associate Professor of the Department LT-1, BMSTU (Mytishchi branch), ovkorm68@yandex.ru

Received 26.06.2023.

Approved after review 13.12.2023.

Accepted for publication 06.02.2024.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article
The authors declare that there is no conflict of interest