

Научная статья
УДК 630*165.51
DOI: 10.37482/0536-1036-2024-4-68-80

Семенная продуктивность и качество семян *Pinus sylvestris* L. в лесных культурах на крымских яйлах

В.П. Коба¹, д-р биол. наук, проф., зав. лаб.; ResearcherID: [АНН-4819-2022](https://orcid.org/0000-0002-2144-0836),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2144-0836>

И.А. Крестьянишин², зав. отд.; ResearcherID: [AIC-4574-2022](https://orcid.org/0000-0003-2606-2317),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2606-2317>

О.О. Коренькова³, канд. биол. наук, доц.; ResearcherID: [АНН-3052-2022](https://orcid.org/0000-0001-6482-7312),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6482-7312>

¹Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН, спуск Никитский, д. 52, г. Ялта, Республика Крым, Россия, 298648; kobavp@mail.ru

²Министерство экологии и природных ресурсов Республики Крым, ул. Кечкетметская, д. 198, г. Симферополь, Россия, 295022; krest.igor@mail.ru

³Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, ш. Ярославское, д. 26, Москва, Россия, 129337; o.o.korenkova@mail.ru

Поступила в редакцию 24.05.22 / Одобрена после рецензирования 27.09.22 / Принята к печати 29.09.22

Аннотация. Изучены семенная продуктивность и качество семян *Pinus sylvestris* в лесных культурах на крымских яйлах. Дана характеристика динамики биометрических показателей шишек и семян по годам и в связи с особенностями условий произрастания. Выявлены существенные различия качества семян деревьев *P. sylvestris* по уровню энергии прорастания. Показано, что наряду с температурным режимом значительное влияние на результативность процессов репродукции *P. sylvestris* оказывают влажность воздуха и характер выпадения осадков, динамика движения воздушных масс, т. к. успех опыления определяется количеством и качеством пыльцы, достигшей женских репродуктивных структур. На основе анализа погодных явлений и динамики качества семян установлено, что уровень всхожести семян наиболее хорошо отражается интегральным показателем, учитывающим совместное действие нескольких факторов, – индексом сухости. Кроме того, результаты анализа позволили заключить, что с наибольшей вероятностью на эффективность процесса опыления женских шишек *P. sylvestris* в условиях яйлы оказывает влияние количество часов солнечного сияния. Энергия прорастания и всхожесть семян отличаются не только в пределах изученных насаждений, но и в зависимости от года исследования. В лесных культурах Ай-Петринской яйлы в период наблюдений формировались наиболее качественные семена. В 2014 г. в насаждениях с полнотой 0,5 всхожесть семян составила $74,5 \pm 2,2$ %. Самые низкие уровни энергии прорастания и всхожести семян были отмечены в искусственных насаждениях *P. sylvestris* на Тырке-яйле, в 2012 г. эти показатели здесь составили $15,2 \pm 0,7$ и $46,2 \pm 2,1$ % соответственно. В целом развитие генеративной сферы *P. sylvestris* в искусственных насаждениях на крымских яйлах проходит достаточно эффективно, на основании чего сделан вывод о благоприятности условий произрастания на яйлах для реализации начальных этапов онтогенеза вида.

Ключевые слова: яйла, *Pinus sylvestris*, лесные культуры, семенная продуктивность, качество семян, Республика Крым

Для цитирования: Коба В.П., Крестьянишин И.А., Коренькова О.О. Семенная продуктивность и качество семян *Pinus sylvestris* L. в лесных культурах на крымских яйлах // Изв. вузов. Лесн. журн. 2024. № 4. С. 68–80. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2024-4-68-80>

Original article

Seed Production and Seed Quality of *Pinus sylvestris* L. in Forest Plantations on the Crimean Yaylas

Vladimir P. Koba¹, Doctor of Biology, Prof., Lab. Chief; ResearcherID: [AHH-4819-2022](https://orcid.org/0000-0002-2144-0836),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2144-0836>

Igor' A. Krest'yanishin², Head of Department; ResearcherID: [AIC-4574-2022](https://orcid.org/0000-0003-2606-2317),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2606-2317>

Olesya O. Koren'kova³, Candidate of Biology, Assoc. Prof.;
ResearcherID: [AHH-3052-2022](https://orcid.org/0000-0001-6482-7312), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6482-7312>

¹Nikitsky Botanical Gardens – National Scientific Center of the RAS, Nikitsky Spusk, 52, Yalta, Republic of Crimea, 298648, Russian Federation; kobavp@mail.ru

²Ministry of Ecology and Natural Resources of the Republic of Crimea, ul. Kechkemetskaya, 198, Simferopol, Republic of Crimea, 295022, Russian Federation; krest.igor@mail.ru

³National Research University Moscow State University of Civil Engineering, sh. Yaroslavskoe, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; o.o.korenkova@mail.ru

Received on May 24, 2022 / Approved after reviewing on September 27, 2022 / Accepted on September 29, 2022

Abstract. The seed production and quality of *Pinus sylvestris* seeds in forest plantations on the Crimean yaylas has been studied. The dynamics of biometric indicators of cones and seeds by year and in connection with the peculiarities of growing conditions has been characterized. Significant differences in the quality of seeds of *P. sylvestris* trees have been revealed in terms of the level of germination energy. It has been shown that, along with the temperature regime, a significant impact on the effectiveness of *P. sylvestris* reproduction processes is exerted by air humidity and the nature of precipitation, as well as the dynamics of air mass movement, since the success of pollination is determined by the quantity and quality of pollen that has reached the female reproductive structures. Based on the analysis of weather phenomena and the dynamics of seed quality, it has been found that the level of seed germination is best reflected by an integrated index that takes into account the combined effect of several factors – the dryness index. In addition, the results of the analysis allowed us to conclude that the efficiency of the pollination process of female cones of *P. sylvestris* under yayla conditions is most likely influenced by the number of hours of sunshine. The germination energy and seed germination differ not only within the studied plantations, but also depending on the year of study. During the observation period, the forest plantations of the Ai-Petrinskaya Yayla have produced the highest quality seeds. In 2014, in the plantations with a density of 0.5, the seed germination rate was 74.5 ± 2.2 %. The lowest level of germination energy and seed germination has been noted in artificial plantations of *P. sylvestris* on the Tirke Yayla; in 2012, these indicators here amounted to 15.2 ± 0.7 and 46.2 ± 2.1 %, respectively. In general, the development of the generative sphere of *P. sylvestris* in artificial plantations on the Crimean yaylas is quite effective. Based on this, a conclusion has been made that the growing conditions on the yaylas are favourable for the implementation of the initial stages of the ontogenesis of the species.



Keywords: yayla, *Pinus sylvestris*, forest plantations, seed production, seed quality, the Republic of Crimea

For citation: Koba V.P., Krest'yanishin I.A., Koren'kova O.O. Seed Production and Seed Quality of *Pinus sylvestris* L. in Forest Plantations on the Crimean Yaylas. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2024, no. 4, pp. 68–80. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2024-4-68-80>

Введение

Верхний высотный пояс горного Крыма – это холмистое, закарстованное плоскогорье (яйлы). Леса, произрастающие на этих территориях, выполняют важные водоохранные, почвозащитные и рекреационные функции. Наряду с естественными лесами, искусственно созданные лесные насаждения на яйлах позволяют решать задачи по улучшению водного баланса региона за счет увеличения объема стока горных рек полуострова. В начале XX в. на западных и центральных яйлах А.Ф. Скоробогатым и К.Ф. Левандовским [1] произведены первые посадки лесных культур. К сожалению, до наших дней сохранилась только некоторая часть этих посадок – на Никитской яйле. Самые масштабные посадки лесных культур, основными породами которых выступали сосна обыкновенная и крымская, приходится на Ялтинскую яйлу и датированы 50–60-ми гг. прошлого века [10].

В число критериев оценки качества развития генеративной сферы древесных растений входят уровень семенной продуктивности и жизнеспособность семян. Наиболее остро стоит вопрос изучения эффективности процессов репродукции в искусственных насаждениях [16, 20, 22, 24]. Особый интерес представляет изучение механизмов адаптации видов в зависимости от лимитирующих факторов. Уровень репродуктивных процессов снижается в пессимальных условиях, в частности, страдает развитие женской и мужской генеративной сферы, в результате чего семена формируются некачественными или не образуются вовсе [17, 18, 23]. Кроме того, большое значение приобретает трансформация природной среды в результате глобального изменения климата [15, 19, 25–27]. Поэтому количественные и качественные характеристики семенной продуктивности являются ключевыми показателями уровня оптимальности условий произрастания для различных видов растений.

Цель исследования – определение семенной продуктивности и качества семян *Pinus sylvestris* L. в лесных культурах на крымских яйлах.

Объекты и методы исследования

Для изучения биометрических признаков шишек и качества семян *P. sylvestris* с помощью общепринятых таксационных методов [6] в искусственных насаждениях яйл Крыма закладывали пробные площади размером по 0,5 га. На Ай-Петринской яйле пробные площади были заложены на высоте над уровнем моря 1200–1250 м, на Ялтинской – 1400–1450 м, на Никитской – 1300–1350 м, на Бабуган-яйле – 1450–1500 м, на Тырке-яйле – 1150–1200 м.

Анализ динамики семеношения осуществляли по шкале В.Г. Каппера [2], подсчитывая урожайность шишек в пределах всей площади насаждений. Уровень развития женских генеративных структур оценивали по модельным

деревьям – по 10 с каждой пробной площади. В зимне-весенний период из средней части кроны проводили сбор шишек, по 30–40 шт. с модельного дерева. Для каждой из шишек измеряли длину и диаметр. С помощью методики, предложенной С.А. Мамаевым [7], определяли коэффициент формы шишек.

На следующем этапе работы выполняли сушку шишек в термостате при температуре 45 °С с принудительной вентиляцией, чтобы избежать перегрева семян. Затем извлекали семена и проводили подсчет их количества в шишках. Вес 1000 полнозернистых семян устанавливали с точностью до 0,1 г в 4-кратной повторности. В дальнейшем с целью изучения динамики жизненных характеристик семян осуществляли их проращивание на увлажненной фильтровальной бумаге в чашках Петри при температуре 20–22 °С. На 7-й и 15-й дни проращивания оценивали энергию прорастания и всхожесть каждого образца семян в 4-кратной повторности [13].

Для характеристики уровня адаптации *P. sylvestris* в качестве тест-объекта были выбраны естественные древостои вида. Исследования проводили в верхнем поясе распространения *P. sylvestris* в горном Крыму. В районе Никитского хребта на высоте 1150 м над ур. м. в естественных древостоях *P. sylvestris* была заложена пробная площадь размером 0,5 га, на которой выделили 10 модельных деревьев. Сбор и анализ образцов шишек и семян проводили аналогично исследованию материала, заготовленного в искусственных насаждениях *P. sylvestris*.

Обработку полученных результатов осуществляли общепринятыми методами статистики [5].

Результаты исследования и их обсуждение

Размеры и форма шишек детерминируются влиянием факторов внешней среды, а также генетическими особенностями индивида [7]. По изучаемым пробным площадям в лесных культурах *P. sylvestris* на крымских яйлах в годы наблюдений средние показатели длины шишек изменялись от 5,0 до 6,7 см, диаметра – от 2,4 до 4,0 см (табл. 1). Эндогенное варьирование данных признаков характеризуется примерно одинаковым уровнем: для длины коэффициент вариации изменялся в пределах 3,1–9,8 %, диаметра – 3,3–13,4 %.

В ходе проведенного исследования установлена синхронность изменения длины и диаметра шишки на эндогенном уровне. При этом индивидуальная изменчивость проявляется иначе. У некоторых деревьев короткие шишки имеют большой диаметр и наоборот: длинные шишки – небольшой.

Выявлено влияние полноты насаждений на биометрические показатели шишек. При минимальной полноте (0,5) установлены максимальные значения длины и диаметра шишек. Повышение уровня освещенности способствует интенсивности ростовых процессов. В пределах Бабуган-яйлы были отмечены наиболее длинные шишки, тогда как на Тырке-яйле шишки отличаются самыми маленькими размерами. При этом средний диаметр шишек менее дифференцирован. Однако насаждения *P. sylvestris*, произрастающие на Никитской яйле, можно характеризовать как обладающие наиболее крупными шишками.

Таблица 1

**Биометрические показатели шишек в насаждениях *P. sylvestris*
на крымских яйлах**
The biometric indicators of cones in *P. sylvestris* plantations on the Crimean yaylas

Яйла	Сомкнутость крон	Год	Показатели шишки				Количество семян в шишке	
			Длина		Ширина		М±s, шт.	V, %
			М±s, см	V, %	М±s, см	V, %		
Ай-Петринская	0,9	2012	6,2±0,05	6,7	2,8±0,03	6,8	53,8±1,4	19,7
		2013	5,9±0,06	7,6	3,0±0,03	7,4	47,9±1,8	22,9
		2014	6,0±0,03	3,5	3,0±0,01	3,5	52,3±1,2	28,3
	0,5	2012	6,5±0,06	6,8	3,0±0,02	5,4	39,6±1,7	24,7
		2013	5,9±0,04	5,3	3,0±0,02	5,6	48,4±1,8	23,5
		2014	6,0±0,03	3,6	2,9±0,01	3,3	50,8±1,6	21,0
Ялтинская	0,9	2012	5,0±0,06	8,8	2,4±0,04	11,5	38,8±1,4	23,9
		2013	6,4±0,06	7,4	3,0±0,04	10,4	48,2±1,6	21,7
		2014	6,0±0,02	3,2	2,8±0,04	11,2	56,9±1,1	17,2
	0,5	2012	6,6±0,07	7,4	2,8±0,04	9,0	45,6±1,4	20,2
		2013	6,0±0,04	5,1	3,0±0,03	8,4	55,9±1,9	22,8
		2014	6,0±0,03	3,1	2,9±0,03	7,5	59,2±1,5	19,7
Никитская	0,9	2012	6,7±0,08	8,7	3,7±0,05	10,3	42,9±1,0	26,7
		2013	5,9±0,07	9,4	3,0±0,04	8,9	56,9±1,3	25,9
		2014	5,8±0,03	3,4	2,9±0,03	6,9	59,4±1,1	17,2
	0,5	2012	6,6±0,05	5,9	3,7±0,06	12,5	33,4±1,4	23,4
		2013	6,2±0,08	9,1	2,8±0,04	10,9	30,1±1,2	24,1
		2014	5,8±0,03	3,5	2,9±0,02	6,5	52,4±0,9	16,5
Бабуган	0,9	2012	6,5±0,08	8,3	2,8±0,05	13,4	46,0±1,3	21,1
		2013	6,4±0,09	9,8	2,7±0,04	12,1	53,4±1,4	19,4
		2014	6,5±0,05	5,5	2,9±0,01	4,5	54,8±1,0	16,8
	0,5	2012	6,3±0,06	7,5	4,0±0,06	10,2	45,9±1,4	20,7
		2013	6,1±0,04	4,1	3,3±0,05	10,9	48,2±1,3	19,2
		2014	6,0±0,08	9,1	2,9±0,03	6,5	56,7±1,1	17,5
Тырке	0,9	2012	6,0±0,05	5,8	3,0±0,03	7,8	38,6±1,5	21,7
		2013	5,9±0,08	9,8	2,8±0,05	12,9	46,4±1,5	18,2
		2014	5,5±0,06	7,3	2,6±0,04	11,0	52,1±1,6	20,1
	0,5	2012	6,3±0,04	4,9	3,6±0,04	8,4	47,7±1,4	19,8
		2013	5,3±0,09	9,1	3,0±0,05	11,5	48,0±1,3	19,6
		2014	5,7±0,04	5,4	2,8±0,03	8,9	53,4±1,2	18,5
Естественные древостои	–	2014	5,4±0,06	6,4	2,8±0,03	6,8	47,6±1,2	20,7

Отношение диаметра к длине характеризует форму шишек. Данный признак, который принято называть индексом формы шишек (ИФШ), широко используют при изучении популяционной структуры и внутривидовой изменчивости. С применением шкалы классификации по ИФШ, предложенной С.А. Мамаевым [7], форму шишек *P. sylvestris* в лесных культурах крымских яйл следует характеризовать как конусовидную (ИФШ = 0,46–0,54). Коэффициент вариации индивидуальной изменчивости ИФШ больше коэффициента

эндогенной изменчивости. Относительная стабильность ИФШ в кроне дерева свидетельствует о значительном влиянии генотипической составляющей на варьирование данного признака.

Семенная продуктивность сосны определяется 2 показателями: числом шишек на дереве и количеством семян в шишке. Большую часть семян в шишках изучаемых деревьев составляли полные и пустые семена. Недоразвитые и загнившие семена встречались в незначительном количестве. Варьирование числа семян в шишках связано с неравномерностью опыления. Потенциально количество семян запрограммировано, однако степень опыления вносит в эту программу существенные поправки. По мнению R. Sarvas, недостаточное опыление является одним из лимитирующих факторов семенной продуктивности сосны. Результаты исследований, выполненных ученым, свидетельствуют о том, что у *P. sylvestris* не менее 25 % семяпочек остаются неопыленными [28]. Научные изыскания Ю.К. Подгорного также показали, что процесс опыления играет важную роль в динамике семенной продуктивности *P. pallasiana* D. Don [11].

В период реципторной фазы женской шишки успех развития процессов семеношения в значительной степени определяется не только уровнем пыльцевой продуктивности, но и спецификой погодных условий во время лета пыльцы. В этот момент наряду с температурным режимом сильное влияние на процессы репродукции оказывают влажность воздуха, характер выпадения осадков и динамика движения воздушных масс, что обусловлено зависимостью эффективности опыления от количества и качества пыльцы, достигающей женских репродуктивных структур [3, 8, 9]. При ветреной и сухой погоде происходит интенсивное распространение пыльцы и даже при относительно небольшом количестве деревьев, продуцирующих пыльцу, опыление женских шишек достаточно результативно. В искусственных насаждениях *P. sylvestris* на крымских яйлах лет пыльцы обычно наблюдается во 2-й декаде мая; если в этот период часто выпадают осадки, повышена влажность воздуха и обильны туманы, то несмотря на высокую пыльцевую продуктивность опыление женских шишек может пройти с невысокой эффективностью, что в конечном итоге окажет прямое влияние на последующие этапы развития женских репродуктивных структур [4]. Шишки, которые не были опылены, прекращают рост и опадают во 2-й половине лета [8, 9]. Если опыление прошло успешно, то чешуи молодых шишек смыкаются, последующее протекание репродуктивных процессов в данном сезоне завершается частичным прорастанием пыльцы. Оплодотворение яйцеклетки происходит в конце весны – начале лета следующего года, после чего активизируется рост шишек. К началу осени развитие шишек полностью завершается, свободный вылет зрелых семян происходит в конце зимы – начале весны следующего года. Таким образом, весь цикл формирования семян, начиная с опыления женской шишки и завершая высypанием семян, занимает неполные 2 года [8, 9].

Проведенное исследование позволило установить, что семенная продуктивность *P. sylvestris* в горах Крыма, согласно 6-балльной шкале В.Г. Каппера, невысокая. Так, в 2012 г. оценка урожая семян составляла 1 балл, а в 2013 и 2014 гг. – 2 балла.

Количество семян в шишке проявляет значительный уровень изменчивости – до 28,3 %, при этом средние числа семян в шишках лесных культур *P. sylvestris* на яйлах достаточно близкие. Выявлены некоторые различия по

годам, в целом наиболее высокая семенная продуктивность по количеству семян в шишке отмечалась в 2014 г. Так, например, на Никитской яйле в посадках с полнотой 0,9 среднее число семян в шишке составило $59,4 \pm 1,1$ шт.

Для выявления факторов, которые могли бы оказать влияние на эффективность опыления женских шишек, была проведена оценка климатических условий в период вылета пыльцы. Используя данные Ай-Петринской метеостанции, анализировали динамику температурного и влажностного режимов, скорости ветра и количества часов солнечного сияния во 2-й декаде мая в 2010, 2011 и 2012 гг., которые с учетом длительности развития процессов репродукции, как это было показано выше – от опыления до высывания семян, определяли уровень интенсивности семеношения в 2012, 2013 и 2014 гг. соответственно. Результаты анализа позволили установить, что с наибольшей вероятностью на эффективность процесса опыления женских шишек *P. sylvestris* в условиях яйлы оказывает влияние количество часов солнечного сияния (рис. 1). Коэффициент корреляции этого показателя и среднего количества семян в шишке для насаждений Ай-Петринской яйлы с полнотой 0,5 составил $0,950 \pm 0,312$, в насаждениях с полнотой 0,9 эта связь была несколько выше – $0,989 \pm 0,147$. Влияние других климатических факторов менее существенно, оно в основном проявляется на уровне тенденций.

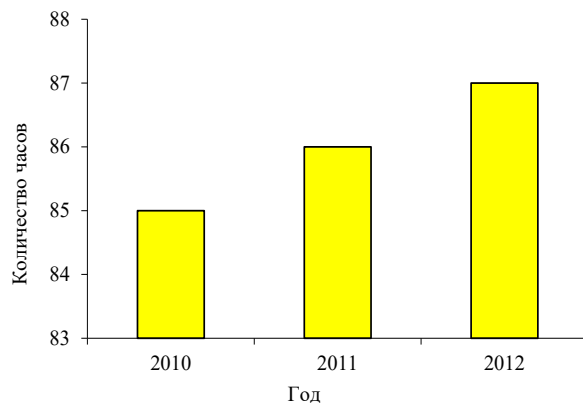


Рис. 1. Количество часов солнечного сияния в период вылета пыльцы (2-я декада мая) в искусственных насаждениях *P. sylvestris* в районе Ай-Петринской яйлы

Fig. 1. The number of hours of sunshine during the period of pollen flight (the 2nd ten days of May) in artificial *P. sylvestris* plantations in the area of Ai-Petrinskaya Yayla

Из литературных данных известно о наличии связи между размерами семян и их массой [21]. Однако наше исследование не позволило выявить подобной закономерности. У отдельных деревьев масса семян непостоянна и зависит от размера шишки и ее положения в кроне. Коэффициент индивидуальной вариации признака составляет 7,2–13,9 %, а эндогенной – 8,5–10,1 %.

Энергия прорастания и всхожесть семян являются важнейшими показателями результативности развития генеративной сферы сосны. Однако их определение требует достаточно длительных лабораторных наблюдений. Поэтому многие исследователи пытались выявить внешние признаки, которые отражали бы посевные качества семян. Больше всего было проведено работ по изучению связи качества семян с размером шишек и массой семян.

В ходе нашего исследования установлена зависимость между массой семян и их всхожестью. На Ялтинской яйле в насаждениях, плотность которых составляет 0,9, уровень зависимости изучаемых показателей – $0,564 \pm 0,134$. Однако для длины и диаметра шишек зависимости обнаружено

не было. В целом по качеству семян, продуцируемых отдельными деревьями *P. sylvestris*, наблюдались заметные различия, особенно по энергии прорастания, минимальное и максимальное значения которой были соответственно 15,2 и 52,4 % (табл. 2).

Таблица 2

Характеристика качества семян в насаждениях *P. sylvestris* на крымских яйлах
The characteristics of seed quality in *P. sylvestris* plantations on the Crimean yaylas

Яйла	Сомкнутость крон	Год	Масса		Энергия прорастания		Всхожесть	
			M±s, г	V, %	M±s, %	V, %	M±s, %	V, %
Ай-Петринская	0,9	2012	10,6±0,1	9,9	31,9±0,9	30,2	60,1±1,7	29,5
		2013	11,4±0,2	11,3	52,4±2,4	32,7	69,5±2,3	23,9
		2014	9,9±0,1	7,8	35,4±1,6	33,0	70,7±2,1	21,1
	0,5	2012	11,4±0,2	11,1	36,7±1,8	34,3	64,3±2,3	25,2
		2013	10,7±0,2	11,9	51,5±2,4	33,6	72,5±2,4	23,8
		2014	9,8±0,2	13,9	45,5±2,1	32,9	74,5±2,2	20,7
Ялтинская	0,9	2012	11,7±0,2	12,8	18,6±0,9	34,8	48,1±1,5	25,6
		2013	10,5±0,2	11,7	39,7±1,7	31,1	56,2±1,9	24,1
		2014	9,6±0,1	8,0	27,0±1,2	31,9	50,8±1,5	21,1
	0,5	2012	11,1±0,1	9,9	20,1±0,9	31,2	47,3±2,5	23,8
		2013	10,5±0,2	12,2	39,5±1,9	33,2	56,9±2,2	27,8
		2014	9,5±0,1	9,8	25,5±1,2	32,5	48,5±1,6	26,9
Никитская	0,9	2012	11,1±0,1	9,9	20,1±0,9	31,2	48,4±2,5	23,8
		2013	14,6±0,2	7,2	40,8±1,9	31,1	50,6±1,9	26,3
		2014	9,2±0,1	9,6	30,4±1,4	33,3	60,1±1,7	20,2
	0,5	2012	12,5±0,2	10,7	38,2±1,7	30,7	54,4±2,1	27,3
		2013	14,0±0,2	11,9	41,1±1,8	30,3	50,0±1,7	24,7
		2014	9,7±0,1	8,7	31,6±1,3	29,5	55,4±1,8	23,2
Бабуган	0,9	2012	11,1±0,2	11,6	21,7±1,0	33,4	46,7±1,6	31,1
		2013	9,8±0,2	12,3	42,5±1,9	32,5	48,9±2,1	30,5
		2014	9,6±0,1	7,4	34,7±1,6	33,1	57,1±2,0	25,1
	0,5	2012	11,5±0,1	7,6	21,1±0,9	29,2	49,9±2,2	31,7
		2013	10,5±0,1	8,2	51,7±2,1	28,3	62,8±2,4	27,1
		2014	9,8±0,1	10,3	35,7±1,7	34,5	60,0±2,1	24,9
Тырке	0,9	2012	11,1±0,1	9,3	15,2±0,7	33,7	46,2±2,1	32,1
		2013	9,6±0,2	13,5	26,4±1,2	30,2	48,3±2,1	31,1
		2014	9,6±0,2	12,4	30,0±1,3	32,8	61,4±2,0	23,3
	0,5	2012	10,8±0,2	13,3	29,1±1,5	35,4	57,6±2,6	31,7
		2013	10,8±0,2	11,8	43,1±1,8	29,9	58,1±2,3	28,8
		2014	9,8±0,1	9,7	29,0±1,4	34,3	57,9±2,0	24,8
Естественные древостой	–	2014	10,1±0,2	9,5	37,5±1,7	30,6	63,5±2,5	27,1

В целом энергия прорастания и всхожесть семян в 2014 г. оказались выше в сравнении с 2012 г. В лесных культурах Ай-Петринской яйлы в период наблюдений формировались наиболее качественные семена. В 2014 г. в насаждениях с полнотой 0,5 всхожесть семян составила 74,5±2,2 %. Самые низкие уровни

энергии прорастания и всхожести семян отмечены в насаждениях *P. sylvestris* на Тырке-яйле, в 2012 г. эти показатели здесь составили $15,2 \pm 0,7$ и $46,2 \pm 2,1$ % соответственно.

Относительно непродолжительный период наблюдений за семенной продуктивностью искусственных насаждений *P. sylvestris* на яйле не позволяет четко определить связь качества семян с динамикой условий произрастания. Однако установлено, что на крымских яйлах развитие процессов семеношения вида в большей степени зависит от индекса сухости, выраженного в совместном действии увлажненности и температурного режима [14]. Коэффициент корреляции между всхожестью семян и индексом сухости летнего периода и начала формирования семян (рис. 2) для насаждений Ай-Петринской яйлы с полнотой 0,9 составил $0,990 \pm 0,142$, в насаждениях с полнотой 0,5 он был незначительно ниже – $0,976 \pm 0,218$. Влияние других климатических факторов менее существенно.

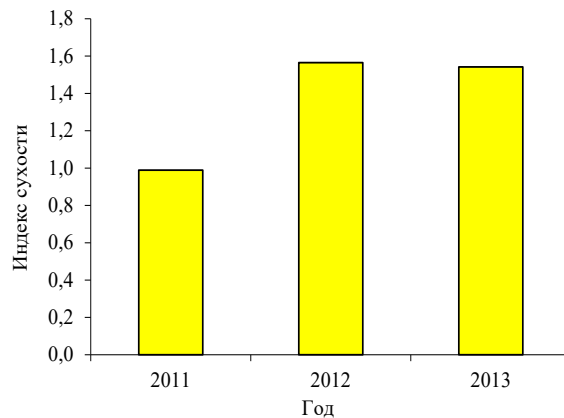


Рис. 2. Индекс сухости летнего периода в районе Ай-Петринской яйлы

Fig. 2. The dryness index of the summer period in the area of the Ai-Petrinskaya Yayla

В 2014 г. дополнительно были проведены работы по изучению биометрических характеристик шишек и показателей качества семян в естественных древостоях *P. sylvestris*. В горном Крыму естественные древостои *P. sylvestris* в некоторых местах достигают кромки яйлы, поэтому характеристики развития процессов репродукции данного вида могут быть использованы как тестовые показатели при оценке адаптации и в конечном итоге натурализации интродуцированного вида, которым является *P. sylvestris*.

Сравнительный анализ полученных результатов показывает, что биометрические показатели шишек сосны естественных и искусственных насаждений различаются незначительно: в лесных культурах на яйле они несколько выше, чем в естественных древостоях. Среднее количество семян в шишке и их масса также имеют весьма близкие значения. Энергия прорастания и всхожесть семян *P. sylvestris* на Ай-Петринской яйле были даже более высокие, чем в природных насаждениях *P. sylvestris*. На других яйлах показатели качества семян различались в целом не очень существенно. Таким образом, развитие генеративной сферы *P. sylvestris* в искусственных насаждениях на крымских яйлах проходит достаточно эффективно.

Полученные результаты свидетельствуют об отсутствии пессимальных условий для произрастания искусственных насаждений *P. sylvestris* в горном Крыму. Процессы семеношения и в целом развития генеративной сферы у изученных древостоев протекают схоже с естественными насаждениями вида.

В итоге большое практическое значение для Крымского полуострова имеет заготовка семян в пределах искусственных насаждений *P. sylvestris*, произрастающих на яйлах.

Эффективность лесокультурных работ во многом зависит не только от качества семенного материала, но и от его эколого-генетического соответствия конкретным лесорастительным условиям. Каждая природная популяция в процессе развития формирует генотипический состав, адаптированный к тем условиям среды, на фоне которых под давлением отбора проходят микроэволюционные изменения. Перенесенная в новые условия популяция через наследственно обусловленную норму реакции отражает адаптивные свойства, проявляющиеся в динамике ее роста и устойчивости [12].

В горных ландшафтах негативное действие экологического несоответствия семенного материала значительно усиливается в связи с высотной поясностью и орографической неоднородностью. Поэтому на уровне семенных потомков даже 1-го поколения в результате естественных процессов элиминации происходит формирование эколого-генетического потенциала искусственных популяций или группы растений, который в большей степени отвечает новым условиям произрастания.

В настоящее время возможности селекционных работ в искусственных насаждениях *P. sylvestris* на яйлах значительно расширяются, т. к. многие из насаждений достигли возраста репродуктивной активности (40–50 лет). Отбор и использование семенного материала, адаптированного к местным условиям произрастания, будет способствовать повышению эффективности фитомелиоративных работ на крымских яйлах.

Заключение

В лесных культурах *Pinus sylvestris* на крымских яйлах длина шишек изменяется в пределах 5,0–6,7 см, диаметр – 2,4–4,0 см. Количество семян в шишке значительно варьирует, при этом средние показатели имеют достаточно близкие значения. Масса семян изменяется по годам и в связи с особенностями условий произрастания. Коэффициент эндогенной и индивидуальной вариации данного признака невысок и варьирует в пределах 8,5–10,1 и 7,2–13,9 % соответственно.

Жизнеспособность семян отдельных деревьев *P. sylvestris* характеризуется существенными различиями, особенно по уровню энергии прорастания, значения которой варьируют от 26,4 до 52,4 %. На динамику качества семян наиболее существенное влияние оказывает уровень сухости в период формирования репродуктивных структур, который оценивают при помощи индекса сухости, учитывающего совместное действие нескольких факторов.

Биометрические характеристики шишек и семян искусственных насаждений *P. sylvestris* на яйлах Крыма схожи с показателями естественных древостоев вида, что, в свою очередь, свидетельствует о благоприятных условиях для произрастания *P. sylvestris* на территории полуострова.

В настоящее время возможности проведения селекционно-лесокультурных работ в искусственных насаждениях *P. sylvestris* на яйлах значительно увеличиваются, т. к. многие из насаждений вступили в фазу репродуктивной активности. Применение семенного материала, адаптированного к местным условиям произрастания, повысит эффективность фитомелиоративных работ на крымских яйлах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. *Ведь И.П.* Климат и облесение Крымских нагорий / под ред. А.Н. Олиферова. Симферополь: ТНУ им. В.И. Вернадского, 2007. 135 с.
Ved' I.P. *Climate and Afforestation of the Crimean Highlands*. Ed. by A.N. Oliferov. Simferopol, Taurida National V.I. Vernadsky University, 2007. 135 p. (In Russ.).
2. *Денек В.Н., Капралов А.В., Садриева Л.Л.* Учет урожая лесных семян: метод. указания к проведению практ. занятия для студентов ЛХФ оч. и заоч. форм обучения, специальность 250201 «Лесное дело». Екатеринбург: УГЛТУ, 2012. 15 с.
Deneko V.N., Kapralov A.V., Sadrieva L.L. *Accounting for Harvest of Forest Seeds: Methodical Instructions for Conducting a Practical Lesson for Full-Time and Part-Time Students of the Faculty of Forestry, Speciality 250201 "Forestry"*. Yekaterinburg, USFEU Publ., 2012. 15 p. (In Russ.).
3. *Дрейманис А.А.* Распространение пыльцы сосны обыкновенной и семеношение на некоторых семенных плантациях Латвийской ССР: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Елгава, 1972. 18 с.
Dreimanis A.A. *Distribution of Scots Pine Pollen and Seed Production in Some Seed Plantations of the Latvian SSR: Cand. Biol. Sci. Diss. Abs.* Jelgava, 1972. 18 p. (In Russ.).
4. *Коба В.П., Крестьянишин И.А.* Фенология пыления и качество пыльцы сосны обыкновенной в искусственных насаждениях крымской яйлы // Лесоведение. 2017. № 6. С. 424–430.
Koba V.P., Krest'yanishin I.A. *Dispersal and Quality of Scots Pine in Plantations of Crimean Yayla. Lesovedenie = Russian Journal of Forest Science*, 2017, no. 6, pp. 424–430. (In Russ.). <https://doi.org/10.7868/S0024114817060043>
5. *Лакин Г.Ф.* Биометрия. М.: Высш. шк., 1990. 352 с.
Lakin G.F. *Biometrics*. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1990. 352 p. (In Russ.).
6. Лесная таксация / сост. В.С. Сергеева, И.Э. Крамынина. Иркутск: БГУЭП, 2013. 250 с.
Forest Inventory. Comp. by V.S. Sergeeva, I.E. Kramynina. Irkutsk, BSUEL Publ., 2013. 250 p. (In Russ.).
7. *Мамаев С.А.* Формы внутривидовой изменчивости древесных растений (На примере семейства Pinaceae на Урале). М.: Наука, 1973. 284 с.
Mamaev S.A. *Forms of Intraspecific Variability of Woody Plants (By the Example of the Pinaceae Family in the Urals)*. Moscow, Nauka Publ., 1973. 284 p. (In Russ.).
8. *Некрасова Т.П.* Пыльца и пыльцевой режим хвойных Сибири / отв. ред. А.И. Ирошников. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1983. 169 с.
Nekrasova T.P. *Pollen and Pollen Regime of Siberian Conifers*. Ed.-in-Chief A.I. Iroshnikov. Novosibirsk, Nauka Publ. (Sib. Department), 1983. 169 p. (In Russ.).
9. *Некрасова Т.П.* Изменчивость числа семян в шишках сосны от опыления // Лесоведение. 1986. № 1. С. 38–42.
Nekrasova T.P. *Variability of the Number of Seeds in Pine Cones due to Pollination. Lesovedenie = Russian Journal of Forest Science*, 1986, no. 1, pp. 38–42. (In Russ.).
10. *Олиферов А.Н.* Яйла: география, лес, вода. Симферополь: Бизнес-Информ, 2011. 190 с.
Oliferov A.N. *Yayla: Geography, Forest, Water*. Simferopol, Business-Inform Publ., 2011. 190 p. (In Russ.).
11. *Подгорный Ю.К., Ругузов И.А.* Особенности микроспорогенеза и развития мужского гаметофита сосны крымской в связи с семеношением и жизнеспособностью популяций // Бюл. Гос. Никит. ботан. сада. 1979. Вып. I(38). С. 21–25.
Podgornyj Yu.K., Ruguzov I.A. *Peculiarities of Microsporogenesis and Development of the Male Gametophyte of Crimean Pine in Connection with Seed Production and the Via-*

bility of Populations. *Byulleten' Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada* = Bulletin of the State Nikitsky Botanical Gardens, 1979, iss. I(38), pp. 21–25. (In Russ.).

12. Понов П.П. Географическая изменчивость семенной продуктивности *Picea abies* и *P. obovata* (Pinaceae) // Растит. ресурсы. 2006. Т. 42, № 4. С. 1–8.

Попов Р.Р. Geographical Variability of Seed Production of *Picea abies* and *P. obovata* (Pinaceae). *Rastitelnye Resursy*, 2006, vol. 42, no. 4, pp. 1–8. (In Russ.).

13. Ростовцев С.А., Любич Е.С., Соломонова А.А. Семена деревьев и кустарников, методы определения всхожести. М., 1975. 37 с.

Rostovtsev S.A., Lyubich E.S., Solomonova A.A. *Seeds of Trees and Shrubs, Methods for Determining Germination*. Moscow, 1975. 37 p. (In Russ.).

14. Селянинов Г.Т. Методика сельскохозяйственной характеристики климата // Мировой агроклиматический справочник. Л.; М.: Гидрометеиздат, 1937. С. 5–27.

Selyaninov G.T. Methodology for Agricultural Climate Characteristics. *Mirovoy agro-klimaticheskiy spravochnik*. Leningrad, Moscow, Gidrometeoizdat Publ., 1937, pp. 5–27. (In Russ.).

15. Balekoglu S., Caliskan S., Dirik H. Effects of Geoclimatic Factors on the Variability in *Pinus pinea* Cone, Seed, and Seedling Traits in Turkey Native Habitats. *Ecological Processes*, 2020, vol. 9, art. no. 55. <https://doi.org/10.1186/s13717-020-00264-3>

16. Batkhuu N.O., Udval B., Jigjid B.E., Jamyansuren S., Fischer M. Seed and Cone Morphological Variation and Seed Germination Characteristics of Scots Pine Populations (*Pinus sylvestris* L.) in Mongolia. *Mongolian Journal of Biological Sciences*, 2020, vol. 18(2), pp. 41–54. <https://doi.org/10.22353/mjbs.2020.18.14>

17. Bravo F., Maguire D., González-Martínez S. Factors Affecting Cone Production in *Pinus pinaster* Ait.: Lack of Growth-Reproduction Trade-Offs but Significant Effects of Climate and Tree and Stand Characteristics. *Forest Systems*, 2017, vol. 26, iss. 2, art. no. e07S. <https://doi.org/10.5424/fs/2017262-11200>

18. Degtyareva A. Characteristics of *Pinus sylvestris* L. Seeds Under Drought Conditions in the Steppe Region of the Central Chernozem Region. *Journal of Agriculture and Environment*, 2021, no. 3(19), art. no. 1. <https://doi.org/10.23649/jae.2021.3.19.1>

19. Freire A.J., Rodrigues C.G., Tomé M. Climate Change Impacts on *Pinus pinea* L. Silvicultural System for Cone Production and Ways to Contour Those Impacts: A Review Complemented with Data from Permanent Plots. *Forests*, 2019, vol. 10, no. 2, art. no. 169. <https://doi.org/10.3390/f10020169>

20. Gülcü S., Bilir N. Growth and Survival Variation among Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Provenances. *International Journal of Genomics*, 2017, vol. 2017, art. no. 1904623. <https://doi.org/10.1155/2017/1904623>

21. Khamitov R.S., Andronova M.M., Korchagov S.A., Khamitova S.M. Variability of Siberian Stone Pine Seed Yield in Introduction Plantations in the Vologda Region. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2022, vol. 979, art. no. 012010. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/979010912010>

22. Mullin T.J., Persson T., Abrahamsson S., Gull B.A. Effects of Inbreeding Depression on Seed Production in Scots Pine (*Pinus sylvestris*). *Canadian Journal of Forest Research*, 2019, vol. 4, no. 7, pp. 854–860. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2019-0049>

23. Mutke S., Gordo J., Gil L. Variability of Mediterranean Stone Pine Cone Production: Yield Loss as Response to Climate Change. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2005, vol. 132, iss. 3–4, pp. 263–272. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2005.08.002>

24. Neyko I., Kolchanova O., Monarkh V., Poznyakova S. Seed Productivity and Variability of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Clones of Finnish Origin in Seed Orchard in the Central Part of Ukraine. *Folia Forestalia Polonica, Series A – Forestry*, 2020, vol. 62(1), pp. 1–12. <https://doi.org/10.2478/ffp-2020-0001>

25. Parfenova E.I., Kuzmina N.A., Kuzmin S.R., Tchebakova N.M. Climate Warming Impacts on Distributions of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Seed Zones and Seed Mass across Russia in the 21st Century. *Forests*, 2021, vol. 12, no. 8, art. no. 1097. <https://doi.org/10.3390/f12081097>

26. Redmond M.D., Forcella F., Barger N.N. Declines in Pinyon Pine Cone Production Associated with Regional Warming. *Ecosphere*, 2012, vol. 3, iss. 12, pp. 1–14. <https://doi.org/10.1890/ES12-00306.1>

27. Sannikov S.N., Sannikova N.S., Petrova I.V., Egorov E.V. The Hypothesis about the Lofoten Pleistocene Refugium for *Pinus sylvestris* L. *Russian Journal of Ecology*, 2019, vol. 50, pp. 218–226. <https://doi.org/10.1134/S1067413619030123>

28. Sarvas R. Investigations of the Flowering and Seed Crop of *Pinus sylvestris* L. *Communicationes Inscituti Forestalls Fenniae*, 1962, vol. 53, no. 4, pp. 1–198.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest