

Научная статья

УДК 630*232+630*174.753

DOI: 10.37482/0536-1036-2023-3-84-98

Внутривидовое разнообразие *Pinus sylvestris* L. в географических культурах Центральной лесостепи

Т.Е. Галдина[✉], канд. с.-х. наук, доц.; ResearcherID: [AAR-5879-2020](https://orcid.org/0000-0002-3573-1570),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3573-1570>

А.И. Чернодубов, д-р с.-х. наук, проф.; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5395-4006>


М.И. Михайлова, аспирант; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4767-8233>

Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова,
ул. Тимирязева, д. 8, г. Воронеж, Россия, 394087; tatyana_galdina@mail.ru[✉],
schaxina.maryu@yandex.ru

Поступила в редакцию 08.04.21 / Одобрена после рецензирования 13.07.21 / Принята к печати 17.07.21

Аннотация. Географические культуры сосны обыкновенной в Центральной лесостепи, созданные М.М. Вересеным в 1959 г., стали природной лабораторией для проведения генетико-экологических исследований с целью решения практических вопросов лесосеменного районирования. Изучение внутривидового разнообразия *Pinus sylvestris* L. в географических культурах Центральной лесостепи позволяет проследить закономерности формирования культур разного происхождения при различном уровне экологических, генетических и климатических факторов. Представлены результаты многолетних обследований географических культур *P. sylvestris* L. в Центральной лесостепи. Результаты позволяют говорить о сильной степени влияния экологических и генетических факторов на особенности роста, устойчивость, ствольную продуктивность и репродуктивную способность сосны обыкновенной в новых условиях произрастания. Изучение изменчивости морфометрических показателей генеративных органов сосны обыкновенной в географических культурах свидетельствует о воздействии экологических, географических и генетических факторов на способность к семеношению, размеры, окраску шишек, окраску и массу 1000 шт. семян, выход семян, полнозернистость, энергию прорастания, абсолютную всхожесть. Генетические факторы, которые запрограммированы происхождением, определяют константу различия между размерами и цветом шишек и семян, а также на фоне погодных условий – репродуктивную способность в новом месте произрастания в зависимости от происхождения. Так, нами отмечено, что сосна обыкновенная разного географического происхождения вступает в фазу «цветения» в различные сроки: северные климатипы на 5–7 дней раньше, южные – на 5 дней позднее, чем местный (воронежский климатип). Изменчивость параметров генеративных органов сосны также зависит от ее географического происхождения, размер и масса шишки находятся в прямой зависимости от географической широты. При продвижении с севера на юг длина и масса шишки увеличиваются. Выход семян при свободном опылении к фактору географического происхождения строго не приурочен, так как климатипы окружены различными опылителями. Масса 1000 шт. семян изменяется с той же закономерностью, что и в естественных древостоях ареала сосны: с увеличением географической широты происхождения климатипа возрастает и масса. При перемещении сосны обыкновенной в новые условия произрастания прослеживается существенное влияние генетических факторов, которые и определяют устойчивость, ствольную продуктивность и репродуктивную способность вида.

© Галдина Т.Е., Чернодубов А.И., Михайлова М.И., 2023

 Статья опубликована в открытом доступе и распространяется на условиях лицензии CC BY 4.0

Ключевые слова: географические культуры, сосна обыкновенная, репродуктивная способность, фенологические наблюдения, семена, генеративные органы, масса 1000 шт. семян, масса шишки, длина шишки, толщина шишки, выход семян, окраска семян, энергия прорастания семян, всхожесть

Для цитирования: Галдина Т.Е., Чернодубов А.И., Михайлова М.И. Внутривидовое разнообразие *Pinus sylvestris* L. в географических культурах Центральной лесостепи // Изв. вузов. Лесн. журн. 2023. № 3. С. 84–98. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-3-84-98>

Original article

Intraspecific Diversity of *Pinus sylvestris* L. in Provenance Trials of the Central Russian Forest-Steppe Area

Tatyana E. Galdina[✉], Candidate of Agriculture, Assoc. Prof.;

ResearcherID: [AAR-5879-2020](https://orcid.org/0000-0002-3573-1570), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3573-1570>

Alexey I. Chernodubov, Doctor of Agriculture, Prof.;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5395-4006>

Maria I. Mikhailova, Postgraduate Student;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4767-8233>

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, ul. Timiryazeva, 8, Voronezh, 394087, Russian Federation; tatyana_galdina@mail.ru[✉], schaxina.mary@yandex.ru

Received on April 08, 2021 / Approved after reviewing on July 13, 2021 / Accepted on July 17, 2021

Abstract. The provenance trials of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in the Central Russian forest-steppe area were established by M.M. Veresen in 1959. They have become a natural laboratory for genetic and environmental research in order to solve the practical issues of forest seed zoning. The study of the intraspecific diversity of the provenance trials makes it possible to distinguish patterns in the formation of species with various origins under the influence of different ecological, genetic, and climatic conditions. This article presents the results of a multi-year research project. This allows us to state with full responsibility the strong influence of environmental and genetic factors on the characteristics of growth, resistance, trunk productivity, and reproductive capacity of Scots pine in new growing conditions. The generative parts of the study objects were also examined by morphometric indicators. The changes were revealed in seed production, size, cone coloring, color and weight of 1000 pieces of seeds, seed release, seed fullness, germinative energy, and absolute germination. Genetic factors, which are programmed by ancestry, define the constancy of the difference in size and color of cones and seeds. In addition, genetic factors, along with the weather conditions of a new location, regulate reproductive ability. It was noted that Scots pine with different geographical origins enters the flowering phase at different times. The northern trees are 5–7 days earlier than locals; the southern trees are 5 days later. They were studied in the climate of the Voronezh region. The variability in the characteristics of the generative organs of Scots pine is also affected by its place of birth. The size and weight of the cone are directly related to the geographic latitude. The length and weight of the cone increase with movement from north to south. There is no strict relationship between the release of the seeds during free pollination and the place of origin since the study objects were surrounded by various

pollinators. The weight of 1000 seeds changes with the same regularity as in natural stands of pine: it increases with the geographical latitude of the origin. Consequently, under the influence of new growing conditions, Scots pine is strongly affected by its genetic factors that determine the stability, trunk productivity, and reproductive capacity of the species.

Keywords: provenance trials, Scots pine, reproductive ability, phenological observations, seeds, generative organs, weight of 1000 seeds, cone weight, cone length, cone thickness, seed release, seed coloring, seed germination energy, germination

For citation: Galdina T.E., Chernodubov A.I., Mikhailova M.I. Intraspecific Diversity of *Pinus sylvestris* L. in Provenance Trials of the Central Russian Forest-Steppe Area. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2023, no. 3, pp. 84–98. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-3-84-98>

Введение

В настоящее время изучение внутривидовой изменчивости древесных пород и связанного с ней биоразнообразия является одной из значимых и актуальных тем в рамках вопроса экологического состояния лесов. К эффективным методам изучения биологического разнообразия, как отмечал в своих работах Л.Ф. Правдин, относится анализ внутривидовой изменчивости и дифференциации вида [13–15]. Исследования наследственного биоразнообразия, а также анализ и внедрение результатов обследования географической и экологической изменчивости позволяют сформировать общее представление о популяционной структуре вида – основе внутривидовой систематики и селекции, о чем также сказано в источниках [1–11, 17–24]. Г.В. Агафонова указывает, что «изменчивость древесных растений... в основном зависит от генотипа, климатических факторов, условий произрастания» [1, с. 427].

Сосна обыкновенная *Pinus sylvestris* L. – одна из основных лесообразующих пород. Она наделена большим генетическим потенциалом, который таит в себе огромный спектр неисследованных вопросов [5]. Географическая изменчивость наследственно закрепленных морфометрических показателей и фонетрических признаков и свойств *P. sylvestris* L. тесно связана с влиянием экологических и географических факторов и имеет огромное значение для лесокультурной практики, а также для теоретического лесоводства [6–10]. Климатические условия среды определяют рост и распространение *P. sylvestris* L., о чем говорится в работах Н.В. Пахарькова (2014), E. Beuker, V. Koski (1995), J. Oleksyn, M.G. Tjoelker, P.B. Reich (1998), T. Galdina, E. Khazova (2019) [12, 16, 17, 20]. Л.Ф. Правдин изучение географической изменчивости признаков и географической дифференциации естественных популяций назвал фундаментальной проблемой, важнейшим направлением решения которой будет морфолого-систематическое исследование изменчивости древесных растений [13, 14].

Значительная дифференциация генофонда сосны обыкновенной объясняет ее успешное произрастание в весьма контрастных физико-географических и экологических условиях [14, 15]. Приспосабливаясь к определенным условиям обитания, сосна сформировала ареальные разновидности, выделяемые в качестве подвидов, климатических экотипов и других внутривидовых таксонов. Суждения по данной проблеме отличаются некоторой противоречивостью, что обусловлено «размытостью» пространственных границ между слабоизолированными популяциями, отсутствием четких критериев выделения внутривидовых таксонов.

Одним из наиболее эффективных методов изучения формового разнообразия генеративных органов основных лесообразующих пород является си-

стематическое исследование внутривидовой изменчивости, дифференциации и популяционной структуры видов. Особый научный эффект изучения систематики вида даст исследование наследственного биоразнообразия в географических культурах. Для изучения влияния условий местопроизрастания на особенности роста сосны обыкновенной были созданы географические культуры [1–10].

Цель работы – исследование влияния генетических особенностей экотипа и условий местопроизрастания на репродуктивную способность *P. sylvestris* L. в географических культурах Центральной лесостепи.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования стали географические культуры сосны обыкновенной, заложенные под руководством М.М. Вересина в 1959 г. в Воронежском лесхозе на землях сельскохозяйственного пользования при сплошной подготовке почвы («Ступинское поле»). На площади 26 га в условиях A_2 произрастают (по 0,05 га) потомства географических популяций из 94 областей бывшего СССР (228 лесхозов). Для опыта взяты семена популяционных сборов от Калининграда до Благовещенска с запада на восток и от Карелии и Архангельска до Закавказья (Азербайджан) с севера на юг. Тип лесорастительных условий для деревьев, от которых получены семена, – A_1 , B_2 . Географические координаты опыта – $51^{\circ}96'$ с. ш. и $39^{\circ}39'$ в. д. [1–3, 15].

Сеянцы выращены в питомнике Воронежского лесничества. Посадка 2-летних сеянцев проведена под меч Колесова с размещением растений $1,5 \times 0,5$ м. Опытный участок окружен культурами сосны местного происхождения. Таксационная характеристика культур на разных возрастных этапах отражена в работах ранее [1–3, 15].

Для изучения формового разнообразия генеративных органов сосны обыкновенной, обусловленного влиянием экологических и генетических факторов, в географических культурах Центральной лесостепи нами подобраны климатипы (39 шт.), отражающие закономерное изменение географического происхождения мест заготовки семян.

В период 2010–2013 гг. по методике [24] проведены фенологические наблюдения за мужским и женским «цветением» деревьев сосны обыкновенной различного географического происхождения. Для каждого исследуемого объекта отобраны по средним статистическим показателям роста и продуктивности 10 модельных деревьев. Для каждого учетного дерева фиксировали дату начала и дату окончания цветения мужских и женских шишек. Определяли способность к семеношению в новых условиях среды. При изучении изменчивости семеношения сосны обыкновенной различного географического происхождения были использованы методы С.А. Мамаева и Л.Ф. Правдина [11, 14]. В осенний период с 2010 по 2013 г. визуально (по мутовкам, затем суммарно) подсчитано число 2-летних шишек на каждом дереве.

Осенью 2011 г. с 10 модельных деревьев в пределах каждого экотипа были полностью собраны все шишки и учтены по количеству. Количество шишек варьировало от 203 до 517 шт. на каждом учетном объекте. Шишки описывали по методике Л.Ф. Правдина [13, 14]. В число признаков, характеризующих морфологию шишек, входят: цвет шишек, биометрические показатели, строение апофиза семенных чешуй. Цвет шишки определяли глазомерно: светло-коричневый, коричневый, коричнево-бурый, бурый, зеленый, грязно-зеленый.

В лабораторных условиях шишки по 100 шт. раскладывали в пронумерованные ячейки и измеряли длину шишки, ее диаметр в самом широком месте (с точностью до 0,1 мм). Форму апофиза определяли глазомерно: плоский, слабовыпуклый ближе к плоскому, слабовыпуклый, слабовыпуклый ближе к выпуклому, выпуклый, крючковатый [13, 14]. Массу шишек определяли с точностью до 1 мг. Устанавливали диссиметрию шишек для 10 климатипов, произрастающих в контрастных условиях: карельского, ленинградского, новгородского, латвийского, горьковского, минского, воронежского (усманское), житомирского, винницкого, днепропетровского происхождений. Для определения диссиметрии шишки применяли общепринятую методику геометрической модели расположения парастих и генетической спирали в шишке.

Извлечение семян осуществляли после высушивания шишек в сушильном шкафу при температуре 45 °С. Из каждой высушенной шишки извлекали все семена (полные и пустые). Путем легкого надавливания пустые семена отделяли от полных. Семена описывали по методике Л.Ф. Правдина [13, 14]. Глазомерно определяли цвет крылатки. Для характеристики морфологии семян и их качества устанавливали: цвет семени (черные, бурые, пестрые, желтые), массу 1000 шт. семян, полнозернистость, энергию прорастания, абсолютную всхожесть. Полные семена подсчитывали и определяли массу 1000 шт. семян с точностью до 0,5 мг. Массу 1000 шт. семян и цветовые формы окраски семян определяли для 19 климатипов. Для 10 климатипов количество извлеченных семян составило меньше нормы (ГОСТ 13056.4–67), необходимой для расчета показателя. Для 19 климатипов при определении массы 1000 шт. семян брали по 4–5 проб.

Проращивание семян производили в лаборатории Воронежского государственного лесотехнического университета им. Г.Ф. Морозова с учетом требования ГОСТ 10968–88.

Результаты натуральных обследований обрабатывали с использованием программ Excel и StatSoft Statistica 6.0. Вычислены основные статистические характеристики: среднее арифметическое (M) и ошибка среднего арифметического (m).

Результаты исследования и их обсуждение

На основании проведенных наблюдений получены результаты, свидетельствующие о влиянии генетических и экологических факторов на репродуктивную способность сосны обыкновенной в условиях Центральной лесостепи. Фенологические наблюдения обнаружили, что раньше всех весенние фазы цветения по сравнению с местным воронежским климатипом проходят у сосны северного происхождения, а позднее (на 6–8 дней в 2010 г.) – южного и западного климатипов. Северо-западные климатипы по срокам цветения более близки к северным, а сосна из Центрально-Черноземного района занимает промежуточное положение. Максимальный разрыв в сроках массового пыления климатипов составляет 5 дней.

Сосна разного географического происхождения характеризуется различной репродуктивной способностью (табл. 1). Процент семеносящих деревьев снижается в южном направлении. Их доля у сосны из Карелии и Ленинградской области составляет 64–67 %, а у сосны из Белгородской и Днепропетровской областей – только 19 %.

Таблица 1

Фенологические и репродуктивные особенности сосны обыкновенной разного географического происхождения в Центральной лесостепи
Phenological and reproductive features of Scots pine with different geographical origins in the Central Russian forest-steppe area

№	Республика/ область/город*	Лесхоз/лесхоззаг*	Географические координаты		Дата цветения (2010 г.)		Средний процент семеносящих деревьев (2010–2013)
			с. ш.	в. д.	начало	конец	
1	Карелия	Заонежский	64°30'	32°00'	16.05	23.05	52
2	Архангельская	Онежский	63°45'	37°40'	15.05	22.05	53
3	Вологодская	Череповецкий	60°15'		17.05	23.05	35
4	Ленинградская	Рощинский		29°40'			67
5	Эстония	Таллинский	59°25'	23°17'	18.05	22.05	50
6	Костромская	Мантуровский	58°18'	44°42'			49
7	Псковская	Струго-красненский	58°15'	25°50'			50
8	Новгородская	Валдайский	58°00'	33°15'			23.05
9	Ярославская	Рыбинский	57°08'	38°40'	35		
10	Латвия	Угальский	57°28'	21°35'	17.05	22.05	64
11	Пермская	Осинский	57°22'	55°20'	18.05	23.05	86
12	Калининская	Калининский	56°48'	35°50'	17.05		57
13	Горьковская	Павловский	56°05'	43°05'	19.05	24.05	68
14	Татарская	Красноборский	55°55'	53°05'	21.05	26.05	60
15	Смоленская	Велижский	55°49'	31°05'	18.05	23.05	79
16	Калининская	Полесский	54°55'	21°05'		24.05	75
17	Брянская	Клинцовский	54°51'	32°35'	19.05	25.05	57
18	Литва	Койшадорский	54°50'	24°20'		23.05	79
19	Рязанская	Солотинский	54°45'	39°50'	18.05	24.05	68
20	Московская	Каширский	54°35'	38°15'	19.05	25.05	60
21	Минская	Борисовский	54°20'	28°30'	20.05		79
22	Мордовия	Зубовский	54°05'	42°40'	21.05		75
23	Калужская	Козельский	54°05'	35°45'	19.05	23.05	67
24	Пензенская	Кузнецкий	53°05'	46°40'	18.05	24.05	50
25	Тамбовская	Тамбовский	52°40'	42°45'	19.05	25.05	19
26	Воронежская	Воронежский (Усманский)	51°50'	39°30'			50
27	Сумская	Королевецкий	51°40'	33°20'	20.05	26.05	19

Окончание табл. 1

№	Республика/ область/город*	Лесхоз/лесхоззаг*	Географические координаты		Дата цветения (2010 г.)		Средний процент семеносящих деревьев (2010–2013)
			с. ш.	в. д.	начало	конец	
28	Курская	Рыльский	51°35'	34°30'	19.05	24.05	35
29	Черниговская	Черниговский	51°30'	31°18'	22.05	28.05	50
30	Белгородская	Старо-Оскольский	51°20'	37°45'	20.05	26.05	19
31	Волынская	Машвичский	51°15'	25°30'		25.05	68
32	Воронежская	Хреновской	51°10'	40°20'	19.05		60
33	Житомирская	Каростенский	50°59'	28°52'	23.05	28.05	39
34	Тернопольская	Кременецкий	50°10'	25°20'	22.05	26.05	55
35	Харьковская	Змиевский	49°45'	36°20'	20.05	25.05	61
36	Винницкая	Яковский	49°32'	30°28'	23.05	27.05	67
37	Марий Эл	Муш-Мари	48°42'	56°20'	22.05	28.05	50
38	Днепропетровск	Новомосковский	48°20'	35°12'	21.05	25.05	19
39	Дрогобынск	Стрийский	48°18'	23°45'	20.05		50

*Наименования областей, лесхозов актуальны на 1959 г.

Масса шишек варьирует в пределах от 3,8 (у сосны более северного происхождения) до 7,5 г (у более южной сосны). Длина шишки изменяется от 3,2 (у восточного климатипа из Пермской обл.) до 4,1 см (у сосны из Смоленской обл.). Толщина шишки колеблется от 1,80 (как для западного, так и для восточного происхождения) до 2,36 см (у сосны из Костромской обл.) (табл. 2). По форме диссиметрии шишки исследуемые климатипы характеризуются следующим соотношением расположения семенных чешуй – 51 % левой и 49 % правой спирали. У воронежских (местных) климатипов соотношение расположения семенных чешуй обратное: 48 % левой и 52 % правой спирали.

Выход семян при свободном опылении в географических культурах варьирует от 0,56 (Московская обл.) до 2,06 % (Черниговская обл.).

Изменчивость климатипов сосны в географических культурах по выходу семян зависит от характера их опыления (окружения климатипов разными опылителями), репродуктивных особенностей и сроков пыления и цветения. У северных климатипов массовое пыление наступает при сумме температур 557–574 °С, у центрально-черноземных – 575, южных – 593, западных – 612. Масса 1000 шт. семян (табл. 3) колеблется от 4,13 (Республика Карелия) до 10,21 г (Винницкая обл.) и у местного климатипа составляет 7,05 г.

Таблица 2

Параметры генеративных органов и выход семян сосны обыкновенной разного географического происхождения
Parameters of generative organs and seed release of Scots pine with different geographical origins

№	Масса одной шишки, г				Длина шишек				Толщина шишек				Выход семян, %
					см								
	М	±m	C _v , %	P, %	М	±m	C _v , %	P, %	М	±m	C _v , %	P, %	
1	4,4	0,55	13	1,58	3,49	0,48	17	2,05	2,35	0,04	20	2,14	1,57
2	4,3	0,52	12	1,44	3,60	0,26	12	1,41	1,85		12	1,41	1,41
3	3,8	0,67	16	1,84	3,63	0,24	11	1,29	1,87	0,03	15	1,73	1,29
4	4,8	0,63	15	1,79	3,51	0,36	15	1,69	2,15			1,79	1,32
5	4,9	0,65		1,82	3,58	0,35	16	1,83	1,92	0,02	12	1,42	1,02
6	4,7	0,66	16	1,86	3,56	0,64	24	2,71	2,36	0,03	19	2,19	1,10
7	4,6	1,20	15	3,50	3,42	0,27	13	1,49	1,81	0,02	10	1,12	1,20
8	5,3	0,70	17	2,04	3,43	0,34	14	1,73	1,97	0,03	12	1,42	0,98
9	6,0	0,68	18	2,03	3,34	0,41	18	2,00	2,05		18	2,02	0,92
10	5,3	0,60	15	1,70	3,53	0,25	13	1,39	1,80	0,02	10	1,21	1,56
11	7,2	0,56		1,75	3,20	0,28		1,57	1,79	0,03	12	1,46	1,23
12	7,0	0,72	16	1,96	3,67	0,34	15	1,77	1,92	0,02	10	1,18	1,64
13	5,1	0,79	17	1,99	3,96	0,28	13	1,42	1,97	0,03	13	1,53	1,98
14	6,7	0,81	18	2,40	3,37	0,30		1,65	1,81		14	1,86	1,82
15	6,6	0,74	14	1,81	4,09	0,35		1,71	2,05	0,02	10	1,32	1,46
16	5,5	0,69	16	1,94	3,56	0,26	12	1,45	1,78	0,03	13	1,60	1,08
17	6,1			1,90	3,63	0,31	14	1,66	1,87	0,02	10	1,21	1,74
18	5,9	0,87	17	2,24	3,88	0,41	15	2,01	2,04	0,03	11	1,48	1,82
19	5,7	0,88	19	2,39	3,69		17	2,15	1,91	0,04	15	1,86	0,78
20	5,4	0,79	16	2,06	3,82	0,31	13	1,59	1,95	0,03	10	1,31	0,56
21	6,2	0,80	18	2,08	3,84	0,37	15	1,80	2,05	0,02	11	1,26	1,56
22	6,1	0,62	13	1,57	3,94	0,39	14	1,84	2,13			1,44	1,68
23	5,3	1,32	36	4,53	3,91	0,34		1,75	1,94	0,03	13	1,58	0,68
24	4,5	0,70	16	1,95	3,59	0,32	1,65	0,02		11	1,32	1,23	
25	6,0	0,71	15	1,78	3,99	0,38	16	1,91	1,04	0,03	13	1,54	0,98
26	6,8	0,75	18	2,14	3,51	0,35		1,83	1,92	0,04	16	1,88	0,47
27	6,1	0,71	15	1,84	3,89	0,33	13	1,67	1,83	0,02	8	1,04	1,36
28	5,1	0,63		1,69	3,94		14	1,66	2,13	0,03	14	1,58	0,88
29	7,2	0,58	13	1,61	3,96	0,26	11	1,39	2,05		0,02	12	1,42
30	6,2	0,73	17	2,00	3,73	0,32	14	1,61	1,82	1,34			1,86
31	5,2	0,73		1,96	3,84	0,31		1,65	1,96	0,03	11	1,28	1,23
32	6,1	0,69	16	1,90	3,60		1,66	1,79	1,48			0,65	
33	7,1	0,87	17	2,24	3,87	0,41	15	2,01	1,98	0,04	15	1,86	1,45
34	5,9	0,88	19	2,39	3,76		17	2,15	1,75	0,03	10	1,31	1,33
35	6,1	0,79	16	2,06	3,72	0,31	13	1,59	1,99	0,02	11	1,26	1,23
36	5,2	0,80	18	2,08	3,90	0,37	15	1,80	1,81			1,44	1,26
37	6,2	0,62	13	1,57	3,61	0,39	14	1,84	1,87	0,03	13	1,58	1,65
38	7,5	1,32	36	4,53	3,64	0,34		1,75	1,99	0,02	11	1,32	1,52
39	7,1	0,70	16	1,95	3,73	0,32		1,65	1,88	0,03	13	1,54	1,67

Примечание: Номер соответствует номеру в табл. 1. C_v – коэффициент вариации по Мамаеву; P – коэффициент достоверности.

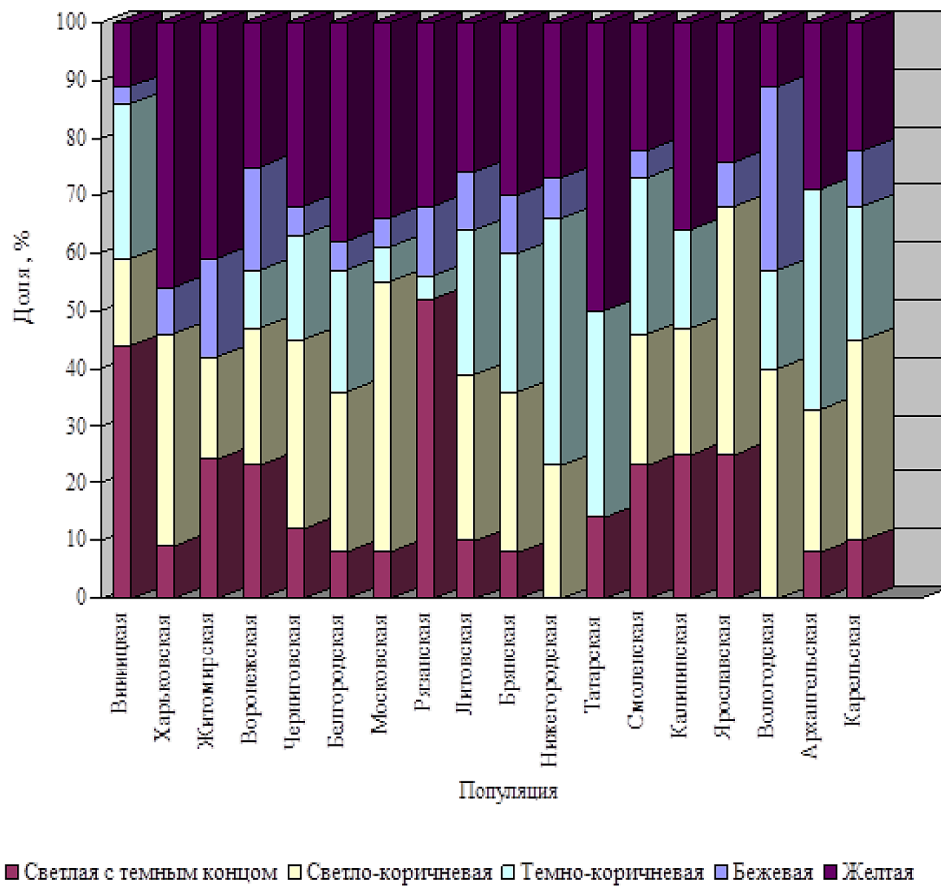
В середине сентября шишки северных и западных климатипов имеют светло-коричневый и коричнево-бурый цвета, а южные и юго-западные – зеленый и грязно-зеленый, что свидетельствует о разных сроках созревания шишек. Из данных табл. 3 видно, что на долю черных семян приходится 68 %, бурых – 17, пестрых – 10, желтых – 5. Крылаток желтой окраски (см. рисунок) было 30, светлой с темным концом – 17, светло-коричневой – 26, темно-коричневой – 19, бежевой – 8 %.

Таблица 3

Изменчивость массы 1000 шт. семян и соотношение форм сосны разного географического происхождения по цвету
Weight variation for 1000 pcs. of seeds and seed colors compared to geographic origins of Scots pine

Популяция	Масса 1000 шт. семян, г	Соотношение цветовых форм окраски семян сосны в географических культурах, %			
		черные	бурые	пестрые	светлые
Винницкая	10,21±0,41	48	47	5	–
Харьковская	8,61±0,38	83	7	10	–
Житомирская	7,29±0,40	81	4	12	3
Воронежская	7,05±0,26	75	17	4	4
Черниговская	6,80±0,31	72	5	18	5
Белгородская	6,57±0,36	50	11	30	9
Московская	6,43±0,28	67		17	5
Рязанская	6,39±0,27	62	13	13	12
Литовская	6,09±0,40	76	10	9	5
Брянская	6,06±0,37	70	8	17	
Нижегородская	6,01±0,36	77	15	5	3
Татарская	5,94±0,25	86	14	–	–
Смоленская	5,70±0,28	72	23	–	5
Калининская	5,63±0,28	86	14	–	0
Ярославская	5,25±0,30	58	35	–	7
Вологодская	4,49±0,26	29	38	18	15
Архангельская	4,17±0,40	69	8	15	8
Карельская	4,13±0,39	49	31	10	10
Среднее по группе	6,26	68	17		5

Энергия прорастания семян (сбор в декабре) составляет 83,7 % – средняя для 39 климатипов при коэффициенте изменчивости 14,2 %, а всхожесть – 90,5 % при низком коэффициенте вариации (8,3 %). Выявлена зависимость посевных качеств семян (сбор в августе–октябре) от их географического происхождения (табл. 4).



Соотношение форм сосны разного географического происхождения по цвету семенной крылатки

Correlation diagram for Scots pine with different geographical origins and colors of the seed lionfish

В более суровых климатических условиях деревья имеют более короткий вегетационный период и более высокие посевные качества семян, чем деревья, произрастающие в мягких условиях среды. Различия между климатипами в большей мере проявляются в ранние сроки, а в более поздние сглаживаются. Между отдельными деревьями также наблюдаются различия по срокам созревания семян, например у карельского климатипа всхожесть семян отдельных деревьев колеблется от 27 до 90 %, у воронежского – от 0 до 54 %, у вологодского – 0–5 %.

Исследование в лабораторных условиях всходов сосны показало, что в среднем для ареала число семядолей составляет 5,7 шт. – от 4,6 (архангельская) до 6,2 (днепропетровская) – изменчивость по ареалу – 12,7 % (табл. 4). Число семядолей увеличивается от северных популяций к южным (на 0,9–1,1 ед.) и от восточных к западным (на 0,6–1,6 ед.). Коэффициент корреляции числа семядолей с широтой пункта сбора семян равен $0,37 \pm 0,15$; с долготой – $0,35 \pm 0,15$; с массой 1000 семян – $0,42 \pm 0,13$.

Таблица 4

Всхожесть и энергия прорастания семян сосны различного географического происхождения
Germination and germination energy of pine seeds of various geographical origins

№	Энергия прорастания, % (сбор в декабре)			Всхожесть, % (сбор в декабре)			Всхожесть, %						Число семян/долей, шт.		
	M	±m	Cv, %	M	±m	Cv, %	август		сентябрь		октябрь		M	±m	Cv, %
							M	±m	M	±m	M	±m			
1	72,6	0,55	11	86,6	0,48	6,3	11,3	0,36	25,6	0,34	72,6	0,32	4,7	0,69	11
2	63,5	0,52	10	77,5	0,26	5,6	16,6	0,35	28,6	0,28	63,5	0,31	4,6	0,87	10
3	67,6	0,67	14	86,6	0,24	6,6	3,8	0,64	15,6	0,30	67,6		4,8	0,88	14
4	75,8	0,63	12	93,8	0,36	7,2	12,8	0,27	36,8	0,35	75,8	0,41	4,7	0,79	12
5	71,8	0,65	14	90,5	0,35	8,0	5,9	0,34	15,6	0,26	71,8		4,9	0,80	14
6	96,5	0,66	12	97,1	0,64	9,3	45,8	0,41	55,6	0,31	96,5	0,31	4,9	0,62	12
7	91,6	1,20	10	95,8	0,27	6,3	51,5	0,25	76,2	0,41	91,6	0,37	4,8	0,60	10
8	70,0	0,70	15	88,2	0,34	6,3	10,0	0,28	38,6		70,0	0,39	5,2	0,56	15
9	78,0	0,68	14	83,5	0,41	8,9	35,0	0,34	52,3	0,31	78,0	0,34	5,1	0,72	14
10	76,9	0,60	9	85,9	0,25	10,2	46,9	0,28	62,3	0,37	76,9	0,32	6,1	0,79	9
11	91,2	0,56	10	93,2	0,28	8,9	43,6	0,30	56,8	0,39	91,2		5,3	0,81	10
12	90,3	0,72	14	98,3	0,34	7,3	12,5	0,35	38,6	0,34	90,3	0,28	6,1	0,74	14
13	91,4	0,79	15	98,4	0,28	6,1	40,0	0,26	78,3	0,32	91,4	0,34	5,9	0,69	15
14	76,4	0,81	10	81,6	0,30	8,7	42,3	0,31	66,3	0,41	76,4	0,28	5,8	0,69	10
15	96,4	0,74	12	97,2	0,35	8,3	55,2	0,41	78,6	0,25	96,4	0,30	5,7	0,87	12
16	78,3	0,69	10	77,5	0,26		14,3		36,8	0,28	65,0	0,35	5,9	0,88	10
17	80,1	0,69	16	88,3	0,31	7,9	40,0	0,31	72,6	0,34	80,1	0,26	6,1	0,79	16
18	91,6	0,87	11	97,2	0,41	8,3	51,6	0,37	68,3	0,28	91,6	0,34	6,1	0,65	11
19	64,0	0,88	15	77,8	0,41	5,2	17,5	0,39	46,5	0,30	64,0	0,28	5,9	0,66	15

Окончание табл. 4

№	Энергия прорастания, % (сбор в декабре)			Всхожесть, % (сбор в декабре)			Всхожесть, %						Число семян/долей, шт.		
	M	±m	Cv, %	M	±m	Cv, %	август		сентябрь		октябрь		M	±m	Cv, %
							M	±m	M	±m	M	±m			
20	92,6	0,79	11	89,3	0,31	9,9	46,3	0,34	78,6	0,35	92,6	0,30	5,8	1,20	11
21	93,6	0,80	14	98,6	0,37	8,9	62,2	0,32	76,4	0,26	93,6	0,35	6,1	0,70	14
22	60,0	0,62	12	76,2	0,39	10,3	28,6	0,38	66,4	0,31	60,0	0,26	5,8	0,68	12
23	78,2	1,32	22	71,3	0,34	6,8	29,4	0,35	42,5	0,41	58,4	0,31	5,7	0,60	22
24	80,4	0,70	11	88,3	0,32	8,3	25,0	0,33	42,6	0,31	80,4	0,41	5,9	0,56	11
25	78,4	0,71	11	87,2	0,38	10,2	44,3	0,33	66,2	0,31	78,4	0,32	5,9	0,72	11
26	90,3	0,75	15	97,3	0,35	9,9	57,1	0,26	78,4	0,37	90,3	0,38	5,9	0,79	15
27	81,6	0,71	12	92,1	0,33	5,3	5,8	0,32	44,6	0,39	81,6	0,35	5,8	0,81	12
28	85,4	0,63	12	93,7	0,33	7,8	42,7	0,31	64,8	0,34	85,4	0,33	5,8	0,74	12
29	90,1	0,58	15	93,3	0,26	8,2	50	0,31	88,4	0,32	90,1	0,33	5,6	0,69	15
30	74,8	0,73	12	82,7	0,32	9,9	17,4	0,41	64,4	0,38	74,8	0,26	5,6	0,69	12
31	91,8	0,73	14	97,8	0,31	8,3	48,9	0,35	72,6	0,35	91,8	0,32	6,1	0,65	14
32	87,2	0,69	10	91,5	0,31	7,7	38,6	0,26	78,6	0,33	87,2	0,31	6,0	0,66	10
33	92,6	0,87	10	96,3	0,41	6,8	52,4	0,28	80,2	0,33	92,6	0,31	5,9	1,20	10
34	96,2	0,88	14	98,5	0,41	8,9	59,3	0,36	78,5	0,26	96,2	0,41	6,1	0,70	14
35	54,6	0,79	15	68,2	0,31	8,2	27,3	0,25	32,5	0,32	54,6	0,41	5,7	0,62	15
36	93,6	0,80	14	95,6	0,37	12,3	32,5	0,28	68,4	0,31	93,6	0,31	6,1	1,32	14
37	76,4	0,62	10	76,4	0,39	9,3	43,2	0,22	62,4	0,31	76,4	0,37	6,0	0,70	10
38	91,2	1,32	11	95,2	0,34	14,0	45,6	0,36	72,4	0,41	91,2	0,42	6,2	0,71	11
39	7,1	0,70	16	97,2	0,32	8,3	39,1	0,56	72,4	0,41	88,2	0,33	6,1	0,69	15

Примечание: Номер соответствует номеру в табл. 1.

Заключение

Результаты наблюдений, проведенных в географических культурах *Pinus sylvestris* L. в Центральной лесостепи, свидетельствуют о сильной дифференциации вида, обусловленной генетическими особенностями климатипов, сформированными под влиянием экологических факторов в местах естественного происхождения, и разной реакцией на экологические факторы в условиях испытания.

В новых условиях местопроизрастания сосны обыкновенной под генетическим контролем находятся такие показатели, как срок «цветения», массовое пыление, репродуктивная способность. Высокая степень дифференциации и формового разнообразия шишек и семян исследуемых объектов объясняется генетическими характеристиками климатипов, сформированными под воздействием условий мест происхождения, и реакцией на условия пункта испытания, что определяет качественные и количественные показатели репродуктивных органов.

Таким образом, проведенное исследование подтверждает необходимость достоверных данных об особенностях роста климатипа в новых условиях местопроизрастания при переброске семян из одних районов в другие. Особое значение это имеет при определении районов-поставщиков семян сосны обыкновенной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Агафонова Г.В. Влияние происхождения семян сосны на рост семенного потомства в условиях Среднего Урала // Повышение продуктивности лесов Урала. Свердловск: Урал. лесотехн. ин-т, 1990. С. 106–109.

Agafonova G.V. The Influence of the Origin of Pine Seeds on the Growth of Seed Offspring in the Middle Urals. *Increasing Forest Productivity in the Urals*. Sverdlovsk, USFEU Publ., 1990. pp. 106–109. (In Russ.).

2. Галдина Т.Е. Рост сосны обыкновенной в географических культурах центральной лесостепи // Дендрэкология и лесоведение: материалы Всерос. конф., посвящ. 50-летию Сиб. отд-ния РАН, Красноярск, 02–04 окт. 2007 г. Красноярск: Ин-т леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2007. С. 30–32

Galdina T.E. Growth of Scots Pine in Provenance Trials of the Central Forest-Steppe. *Dendroecology and Forest Science: Proceedings of All-Russian Conference dedicated to the 50th anniversary of the Siberian Branch of RAS, Krasnoyarsk, 02–04 October 2007*. Krasnoyarsk, FRC KSC SB RAS Publ., 2007, pp. 30–32. (In Russ.).

3. Галдина Т.Е., Романова М.М. Исследование особенности роста географических культур сосны обыкновенной в условиях Центральной лесостепи // Политематич. сетевой электрон. науч. журн. КубГАУ. 2017. № 127(03). С. 865–874.

Galdina T.E., Romanova M.M. Studying the Growth Characteristics of Pine Provenance Trials in the Central Forest-Steppe. *Nauchnyy zhurnal KubGAU = Scientific Journal of KubSAU*, 2017, no. 127(03), pp. 865–874. (In Russ.). <https://doi.org/10.21515/1990-4665-127-060>

4. Галдина Т.Е., Романова М.М., Токорева М.О. Состояние географических культур сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях Центральной лесостепи // Политематич. сетевой электрон. науч. журн. КубГАУ. 2012. № 77(03). С. 10–20.

Galdina T.E., Romanova M.M., Tokoreva M.O. The State of Provenance Trials of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in the Central Forest-Steppe. *Nauchnyy zhurnal KubGAU = Scientific Journal of KubSAU*, 2012, no. 77 (03), pp. 10–20. (In Russ.).

5. Ирошников А.И. Географические культуры хвойных в Южной Сибири // Географические культуры и плантации хвойных в Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1977. С. 4–110.

Iroshnikov A.I. Provenance Trials of Conifers in Southern Siberia. *Provenance Trials and Coniferous Plantations in Siberia*. Novosibirsk, Nauka Publ., 1977. pp. 4–110. (In Russ.).

6. Кузьмин С.Р. Динамика радиального роста сосны обыкновенной в географических культурах на дерново-подзолистой песчаной почве // Хвойные бореальной зоны. 2012. Т. XXX, № 1-2. С. 106–110.

Kuzmin S.R. Dynamics of the Radial Growth of Scots Pine in Provenance Trials on Sod-Podzolic Sandy Soil. *Khvoynye boreal'noy zony = Conifers of the Boreal Area*, 2012, vol. 30, no. 1-2, pp. 106–110. (In Russ.).

7. Кузьмин С.Р., Ваганов Е.А., Кузьмина Н.А., Милютин Л.И. Особенности трахеид древесины у климатипов *Pinus sylvestris* (Pinaceae) в географических культурах // Ботан. журн. 2008. Т. 93, № 1. С. 10–21.

Kuzmin S.R., Vaganov E.A., Kuzmina N.A., Milyutin L.I. Specificity of Wood Tracheids of *Pinus sylvestris* (Pinaceae) Climatypes in the Provenance Trial. *Botanicheskiy Zhurnal*, 2008, vol. 93, no. 1, pp. 10–21. (In Russ.).

8. Кузьмин С.Р., Ваганов Е.А., Кузьмина Н.А., Милютин Л.И., Силкин П.П. Плотность устьиц хвои сосны обыкновенной в географических культурах Приангарья // Лесоведение. 2009. № 2. С. 35–40.

Kuzmin S.R., Vaganov E.A., Kuzmina N.A., Milyutin L.I., Silkin P.P. Density of Needle Stomata in Different Scots Pine Provenances in Provenance Trials (the Angara River Basin). *Lesovedenie = Russian Journal of Forest Science*, 2009, no. 2, pp. 35–40. (In Russ.).

9. Кузьмин С.Р., Кузьмина Н.А., Ваганов Е.А. Динамика роста сосны обыкновенной в географических культурах // Лесоведение. 2013. № 1. С. 30–38.

Kuzmin S.R., Kuzmina N.A., Vaganov E.A. Growth Dynamics of Scots Pine in Provenance Trial Plantations. *Lesovedenie = Russian Journal of Forest Science*, 2013, no. 1, pp. 30–38. (In Russ.).

10. Кузьмин С.Р., Кузьмина Н.А., Милютин Л.И., Муратова Е.Н. Внутривидовая изменчивость морфологических признаков хвои у сосны обыкновенной в географических культурах Приангарья // Вестн. Томск. гос. ун-та. 2004. № 10. С. 41–45.

Kuzmin S.R., Kuzmina N.A., Milyutin L.I., Muratova E.N. Intraspecific Variability in Morphological Characteristics of Scots Pine Needles in Provenance Trials of the Angara River Basin. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta = Tomsk State University Journal*, 2004, no. 10, pp. 41–45. (In Russ.).

11. Мамаев С.А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений. М.: Наука, 1973. 282 с.

Мамаев S.A. *Forms of Intraspecific Variability of Woody Plants*. Moscow, Nauka Publ., 1973. 282 p. (In Russ.).

12. Пахарькова Н.В., Кузьмина Н.А., Кузьмин С.Р., Ефремов А.А. Морфофизиологические особенности хвои у разных климатипов сосны обыкновенной в географических культурах // Сиб. экол. журн. 2014. Т. 21, № 1. С. 107–113.

Pakharkova N.V., Kuzmina N.A., Kuzmin S.R., Efremov A.A. Morphophysiological Traits of Needles in Different Climatypes of Scots Pine in Provenance Trial. *Sibirskiy ekologicheskii zhurnal = Contemporary Problems of Ecology*, 2014, vol. 21, no. 1, pp. 107–113. (In Russ.). <https://doi.org/10.1134/S1995425514010107>

13. Правдин Л.Ф. Сосна обыкновенная: Изменчивость, внутривидовая систематика и селекция. М.: Наука, 1964. 190 с.

Pravdin L.F. *Scots Pine: Variability, Intraspecific Systematics and Selection*. Moscow, Nauka Publ., 1964. 190 p. (In Russ.).

14. Правдин Л.Ф. Внутривидовая систематика и ее значение для селекции // Проблемы современной ботаники. Т. 1. М.: Наука, 1965. С. 73–76.

Pravdin L.F. Intraspecific Systematics and Its Meaning for Selection. *Problems of Modern Botany. Vol. 1.* Moscow, Nauka Publ., 1965. pp. 73–76.

15. Правдин Л.Ф., Вакуров А.Д. Рост сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) разного географического происхождения в подзоне хвойно-широколиственных лесов // Сложные боры хвойно-широколиственных лесов и пути ведения лесного хозяйства в лесопарковых условиях Подмосковья. М.: Наука, 1968. С. 160–195.

Pravdin L.F., Vakurov A.D. Growth of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) of Different Geographical Origin in the Subzone of Coniferous-Deciduous Forests. *Complex Pine Forests of Coniferous-Deciduous Forests and Forest Management Methods in the Forest-Park Conditions of the Moscow Region.* Moscow, Nauka Publ., 1968. pp. 160–195. (In Russ.).

16. Чернодубов А.И., Галдина Т.Е., Смогунова О.А. Географические культуры сосны обыкновенной на юге Русской равнины. Воронеж: ВГЛТА, 2005. 128 с.

Chernodubov A.I., Galdina T.E., Smogunova O.A. *Provenance Trials of Scots Pine in the South of the Russian Plain. Monograph.* Voronezh, VGLTA Publ., 2005. 128 p. (In Russ.).

17. Beuker E., Koski V. Adaptation of Tree Populations to Climate as Reflected by Ages Provenance Tests. *Caring for the Forest: Research in a Changing World. Poster Abstracts. IUFRO XX World Congress, August 6–12, 1995.* Finland, Tampere, 1995, p. 248.

18. Galdina T., Khazova E. Adaptability of *Pinus sylvestris* L. to Various Environmental Conditions. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, vol. 316, no. 1, p. 012002. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/316/1/012002>

19. Jonsson A., Ekberg I., Eriksson G. Flowering in a Seed Orchard of *Pinus sylvestris* L. *Studia Forestalia Suecica*, 1976, no. 135, pp. 1–38.

20. Oleksyn J., Tjoelker M.G., Reich P.B. Adaptation to Changing Environment in Scots Pine Populations Across a Latitudinal Gradient. *Silva Fennica*, 1998, vol. 32, no. 2, pp. 129–140. <https://doi.org/10.14214/sf.691>

21. Rehfeldt G.E., Tchebakova N.M., Parfenova Y.I., Wykoff W.R., Kuzmina N.A., Milyutin L.I. Intraspecific Responses to Climate in *Pinus sylvestris*: Responses to Climate in *Pinus sylvestris*. *Global Change Biology*, 2002, vol. 8, no. 9, pp. 912–929. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2002.00516.x>

22. Reich P.B., Oleksyn J. Climate Warming Will Reduce Growth and Survival of Scots Pine Except in the Far North: Scots Pine Growth and Survival Following Climate Transfer. *Ecology Letters*, 2008, vol. 11, no. 6, pp. 588–597. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2008.01172.x>

23. Savolainen O., Bokma F., Garcia-Gil R. Genetic Variation in Cessation of Growth and Frost Hardiness and Consequences for Adaptation of *Pinus sylvestris* to Climatic Changes. *Forest Ecology and Management*, 2004, vol. 197, no. 1-3, pp. 79–89. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.05.006>

24. Suvanto S., Nöjd P., Henttonen H.M., Beuker E., Mäkinen H. Geographical Patterns in the Radial Growth Response of Norway Spruce Provenances to Climatic Variation. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2016, vol. 222, pp. 10–20. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.03.003>

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest

Вклад авторов: Все авторы в равной доле участвовали в написании статьи
Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article