

С.В. Левин

**РОСТ И РАЗВИТИЕ СОСНЫ ГИБКОЙ (*PINUS FLEXILIS* JAMES)
ПРИ ЕЕ ИНТРОДУКЦИИ В ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ**

Введение. История интродукции лесных древесных видов уходит в глубину веков. Немало из них прижилось в новых географических районах, стало частью растительных сообществ и изменило направление сукцессии. Важными представителями лесных хвойных древесных пород – интродуцентов в стране и в Европе уже являются псевдотсуга, сосна Веймутова, сосна скрученная и др. Они практически стали доминантными видами местной флоры и сейчас рассматриваются как естественная часть современных и будущих растительных сообществ.

В России Н.И. Вавилов всю историю лесокультурного дела, степного лесоразведения, паркостроения с середины XIX в. неразрывно связывал с интродукцией [Вавилов, 1987]. К концу 50-х годов XX в. лесная интродукция стала рассматриваться как народно-хозяйственная задача. Однако В.Н. Сукачев признавал, что до этого времени не было хорошо разработанной теории интродукции лесных древесных пород [Сукачев, 1950]. Заметный качественный сдвиг в развитии лесной интродукции произошел в первой половине 80-х годов. И.С. Мелехов, оставляя приоритет за традиционными методами восстановления хвойных лесов, предлагал использовать интродукцию наиболее перспективных пород как дополнительное средство расширения площади хвойных насаждений, повышения их продуктивности [Мелехов, 1984].

С целью решения вопроса лесной интродукции, где в первую очередь создавать лесные культуры экзотов, чтобы получить наибольший экономический эффект, было проведено районирование территории европейской части СССР, выполненное ЦНИИЛГИС (сейчас ВНИИЛГИСбиотех) в 1981–85 гг. [Болотов и др., 2005]. Очертания округов лесоинтродукционного районирования были приняты, в основном, по лесорастительному районированию С.Ф. Курнаева [Курнаев, 1973], так как в этом случае оно не только соответствует геоморфологической структуре европейской территории России, но и значительно отличается соседние округа по макроклиматическим условиям, а также по ассортименту интродуцированных видов (в среднем на 20%). При этом анализ массовых данных по встречаемости экзотов позволял выделить относительные зоны перспективности. Воро-

нежская область входит в зону средней перспективности, где предполагается экономический эффект лесоинтродукционных мероприятий на 15–25% выше уровня эффекта выращивания культур местных видов.

Здесь одной из перспективных орехоплодных хвойных пород испытывается сосна гибкая, или кедровая калифорнийская (*Pinus flexilis* James). Об этом виде – интродукте до его исследования автором в рассматриваемых условиях интродукции имелись весьма скудные сведения. Было отмечено, что в области центральной лесостепи порода оказалась весьма зимостойкой (1953 г.) и в 25 лет она достигала по диаметру ствола – 17,8 см, а по высоте – 7,3 м (бонитет II) [Справочник ..., 1953]. Кроме этого, указывается, что на территории Лесостепной опытно-селекционной станции (1952 г.) имелось 17 экз. растений, которые в возрасте 28 лет достигали 11 м высоты и 18–22 см в диаметре ствола (бонитет II), имели самосев [Машкин, 1971].

Сосна гибкая (*Pinus flexilis* James) произрастает по широте от 33° до 51° северной широты и по высоте от 870 м в Северной Дакоте до 3400 м в Колорадо (рис. 1).



Рис. 1. Размещение сосны гибкой в естественном ареале

Fig. 1. Placement of limber pine in the natural habitat

В северных Скалистых горах и на западе гибкая сосна обычно встречается на более низких высотах, а сосна белая (*Pinus albicaulis* Engelm.) занимает более высокие высоты. В южной части Скалистых гор гибкая сосна растет на высокогорных участках и вытесняется на более низких высотах юго-западной белой сосной (*Pinus strobiformis* Engelm.). В центральной части Скалистых гор гибкая сосна растет от нижней границы до верхней границы деревьев в диапазоне от 1600 м в Пауни-Баттс до 3300 м на перевале Роллинз. В центральной части Скалистых гор на низких высотах она ассоциируется с сосной желтой (*Pinus ponderosa* Dougl. ex Laws.), можжевель-

ником (*Juniperus scopulorum* Sarg.) и пихтой Дугласа (*Pseudotsuga menziesii* Franco), тогда как на больших высотах ее спутниками являются скрученная сосна (*Pinus contorta* Dougl. ssp. *latifolia* Engelm.), субальпийская пихта (*Abies lasiocarpa* (Hook.) Nutt.), сосна остистая (*Pinus aristata* Bailey) и ель Энгельмана (*Picea engelmannii* Parry ex Engelm.) [Schoettle et al., 2000]. Видно, что гибкая сосна может существовать в различных местах, наряду с видами, которые гораздо более ограничены в своем распространении по высоте.

Сосна гибкая – вид, вызывающий растущую озабоченность по отношению к ней. Как и все белые сосны Северной Америки, она испытывает давление со стороны вредителей и патогенов, трансформации земель и изменения климата. С начала прошлого века вид подвергается негативному влиянию возбудителя пузырчатой ржавчины (*Cronartium ribicola*) (завезен в 1908 году из Европы) [Горленко и др., 1988]. В отдельных популяциях, особенно на севере, площадь лесов вида сократилась более чем на 50%. При этом, в сравнении с некогда доминировавшей горной веймутовой сосной (*Pinus monticola*), которая теперь в северных Скалистых горах менее многочисленна и занимает лишь 10% территории в пределах своего ареала, более высокий показатель сохранности сосны гибкой объясняется ее размещением на территории ареала (рис. 2) и незначительным коммерческим значением по причине значительной ветвистости породы. Конечно, это наталкивает на мысль, что виду за столь продолжительное время не уделялось должного внимания. В настоящий момент вид на северных окраинах ареала является одним из наименее распространенных хвойных деревьев в Британской Колумбии и на соответствующем уровне внесен в список исчезающих видов, в соответствии с Законом о дикой природе Альберты. С 2014 года Комитет по статусу диких животных, находящихся под угрозой исчезновения в Канаде, также рекомендовал внести сосну гибкую в федеральный список видов, находящихся под угрозой исчезновения [Barb, 2017]. Данные решения продиктованы тем, что сосна гибкая считается пионерным видом, который колонизирует нарушенные огнем или иные труднодоступные открытые местообитания; улучшает почву и служит посредником для смены хвойными породами: елью Энгельмана и субальпийской пихтой; способствует биоразнообразию, предоставляя прямое и косвенное убежище для диких животных и обеспечивая прямые запасы пищи для них; оказывает экосистемные услуги, которые регулируют гидрологический поток и способствуют устойчивости склонов. Вид демонстрирует удивительный диапазон толерантности в отношении к стрессовым ситуациям, окружающей среде и местоположению, обеспечивая очевидный ши-

рокий экологический охват, который полезен в свете разрешения продолжающихся нарушений [Windmuller-Campione, Long, 2016].

Тем не менее, это вид с длительным периодом генерации, произрастающий на разобщенных участках и зависящий от источников способа распространения генетического материала. В отличие от большинства видов, совместно с ним произрастающих, его семена разносятся птицами и, возможно, грызунами, а не ветром. Североамериканская ореховка (*Nucifraga columbiana* Wilson) извлекает семена из сосновых шишек, переносит до 125 семян за раз в своей подязычной сумке и прячет эти семена на расстоянии до 22 км от родительского дерева [Vander Wall, Balda, 1977; Kamil, Cheng, 2001]. Одна ореховка может спрятать до 30 000 семян на гектаре за один сезон [Lanner et al., 1984; Vander Wall et al., 1977], но извлекает и потребляет только 80% из них, остальные остаются на съедение грызунам или для прорастания. Способы размещения кедровых орехов влияют не только на местонахождения, но и на форму роста гибкой сосны. Деревья, семена которых рассредоточены птицами, растут в виде одноствольных деревьев или группами. Скопление стволиков может быть продуктом одного проростка, утратившего апикальное доминирование или группы отдельных проростков нескольких семян из одного тайника. Генетический анализ показывает, что примерно половина всех куртин – это особи с несколькими стволами [Carsey, Tomback, 1994], для которых потеря верхушечного доминирования в молодом возрасте обычна. Другим следствием рассеяния птицами семян является генетическая структура популяций, которая часто менее дифференцирована среди популяций, чем у видов, переносимых ветром. Однако, в целом, сосны из семян, разносимых ореховками, как правило, не имеют семейственной структуры, характерной для сосен с разносимыми ветром семенами [Bruederle et al., 1998]. Оценки потока генов от самых низких по местоположению древостоев сосны к самым высоким в центральной части Скалистых гор с использованием молекулярно-генетического анализа противоречивы [Schoettle, 2000].

Генетическое разнообразие внутри вида обеспечивает устойчивость к условиям окружающей среды и служит исходным материалом для адаптивной эволюции. Генетическая структура сосны гибкой может отражать ледниковые рефугиумы, из которых распространилась каждая из популяций [Mitton et al., 2000], а также адаптацию к местным условиям [Kremer et al., 2012]. Она имеет широкую генетическую изменчивость, и поэтому ни одно описание не подходит для всех исследованных древостоев ареала [Wright et al., 1959]. Эксперименты показали, что популяционные различия составляют от 1 до 24%, а семейные – от 1 до 20% от общей фенотипиче-

ской дисперсии, в зависимости от проверяемого признака. Это свидетельствуют о том, что у сосны относительно низкий уровень количественной генетической изменчивости между популяциями, но почти такой же уровень внутри популяций [Barb, 2017].

Цель исследования. Рассмотреть в сравнении с условиями естественного ареала развитие и состояние сосны гибкой на территории Воронежской области.

Методика исследования. Исследуемые культуры сосны гибкой (*Pinus flexilis* James) находятся на территории Семилукского коллекционно – маточного дендрария (КМД) Воронежской области в квартале №19 площадью 45×45 м (рис. 2).



Рис.2. Размещение культур объекта на территории Семилукского КМД
Fig.2. Placement of cultures of the object on the territory of Semiluk CMD

Запланированное размещение на площади деревьев – 4,5×3 м при исходной густоте – 740 шт. на 1 га. Созданы культуры посадкой семян, выращенных из семян деревьев, произрастающих на территории Лесостепной опытно-селекционной станции Липецкой области. Посадка осуществлялась под меч Колесова по бороздам на среднемощном выщелоченном черноземе (Д₂). Возраст культур составляет 49 лет. Рубки ухода не проводились. Самосев единично встречается равномерно на площади и за ее пределами.

На объекте проводились замеры длин окружностей деревьев на высоте 1,3 м (с последующим переводом в диаметры) и определялись их высоты, а также осуществлялось картирование с нанесением на планшеты из миллиметровой бумаги точек мест стояния деревьев с проекциями кроны с целью установления расстояний между деревьями (I) и от таксированного дерева до 3-го соседнего ствола (L). При определении перспективности сосны гибкой в мас-

совых озеленительных насаждениях применялась шкала характеристики ландшафтно-эстетических качеств, позволяющая дифференцировать качества вида по 9 признакам: вечнозелёное или листопадное растение (5 баллов); форма кроны (3 балла); форма ствола (3 балла); цвет коры ствола (3 балла); фактура коры ствола (3 балла); размер хвои и листа в сравнении с местным эталонным (3 балла); форма листа (хвои) (3 балла); цвет хвои (листьев) (3 балла); репродукционные органы (3 балла) [Болотов, 2005]. В соответствии со шкалой категорий санитарного состояния деревьев устанавливалась средняя категория санитарного состояния насаждения¹. Средневзвешенная категория санитарного состояния насаждения – 3,35 по причине неубранных упавших деревьев после засухи 2010 г. За последние 8 лет на территории обследуемого участка не произошло гибели деревьев.

Результаты исследований. Из литературных данных [Болотов, 2005] следует отметить, что в регионе европейской части Российской Федерации по роду сосна (*Pinus*) лишь определенное количество видов (13 из 36) обладают климатическим обеспечением условий преимущественного роста. В данный перечень видов входит сосна гибкая, наряду с соснами: веймутоподобной, горной веймутовой, веймутовой, черной, Жеффрея, желтой, аризонской, Энгельмана, Бунге, красной смолистой и Муррея. В табл. 1 приведены данные оценки, которые использовались для сравнения сосен гибкой и обыкновенной по климатическому обеспечению [Болотов, 2005].

Таблица 1

Климатическое обеспечение нормы реакции преимущественного и наилучшего роста сосен

Climatic provision of the norm of reaction of the predominant and best growth of pine trees

Виды сосен	Климатическое обеспечение условий				
	нормы реакции			преимущественного роста	
	сумма температур >10 °C вегетативного периода	экстремально низкие температуры	средний Г.Т.К.	сумма температур >10 °C вегетативного периода	средний Г.Т.К.
Сосна гибкая	1800	–43,0	0,65	2000	0,85
Сосна обыкновенная	1500	–50,0	0,65	1800	0,90

¹ Постановление Правительства РФ от 9 декабря 2020 г. N 2047 "Об утверждении Правил санитарной безопасности в лесах" URL: <https://base.garant.ru/75037636/>

Сосну гибкую следует отнести к виду с высокой степенью адаптивности к засушливым условиям (средний Г.Т.К. нормы реакции – 0,65). Еще из ранних официальных сведений [Справочник ... , 1953] известно, что сосну гибкую следует считать достаточно зимостойкой породой и необходимо задействовать с целью озеленения в групповых и одиночных посадках на территории Центральной лесостепи.

Наряду с этим в литературе отмечено, что показатели соотношения между площадями центральной проводящей системы и поперечного сечения хвои среди исследованных видов рода *Pinus* у пятихвойных сосен по сравнению с сосной обыкновенной (0,278) расположились в следующем порядке: кедровая корейская (0,204), веймутова (0,194), кедровая европейская (0,180), румелийская (0,166), кедровая сибирская (0,160), кедровый стланик (0,147), сосна гибкая (0,146). Отсюда с учетом этого показателя по шкале отношения к влаге по сравнению с сосной обыкновенной (ксерофит) сосна гибкая – мезофит [Нестерович, 1986].

Шкала характеристики ландшафтно-эстетических качеств вида [Болотов, 2005] применялась автором при определении перспективности сосны гибкой в массовых озеленительных насаждениях, которая позволяет дифференцировать качества породы по 9 признакам (табл. 2).

Таблица 2

Характеристика ландшафтно-эстетических качеств видов по признакам

Characteristics of landscape aesthetic qualities of species by traits

Вид	Баллы декоративности по номерам признаков шкалы									Итого
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Сосна гибкая	5	3	3	2	1	3	3	1	3	24
Сосна обыкновенная	5	2	2	3	1	2	2	1	2	20

Примечание. Номера признаков от 1 до 9 согласно шкале, приведенной в методике. Максимальное число баллов – 29, а минимальное – 9.

На основании полученных результатов видно, что по декоративности сосна гибкая превосходит сосну обыкновенную.

На объекте наблюдаем, что деревья сосны гибкой, имея густую крону, отличаются как объемной формой с многочисленными высоко поднятыми от низа ствола ветвями (рис. 2.а), так и формой лишь с ветвлением в вершинной части (рис. 2.б)



а)



б)

Рис. 3. Форма кроны сосны: объемная с многочисленными высоко поднятыми ветвями – а); прямоствольная с ветвлением в вершине – б)

Fig.3. Form of pine crown: volumetric with numerous highly elevated branches – а); upright with several tops – б)

Необходимо отметить, что в материале публикации [Нестерович, 1986] из всех сосен подрода *Strobus* сосне гибкой присуща самая короткая хвоя (46 мм). В результате замеров на объекте величины длин хвои у деревьев вида составили: на центральном побеге – $88 \pm 2,3$ мм, а на боковых побегах – $72,3 \pm 1,4$ мм. Превышение длин хвои по сравнению с литературным источником на 73,9% указывает на успешное протекание процессов уже адаптации вида, поскольку семена были взяты из шишек деревьев, прошедших акклиматизацию на территории Лесостепной опытно – селекционной станции Липецкой области.

В результате исследований нами были получены результаты по таксационным показателям, которые отображены в табл. 3 с учетом состояния деревьев.

Анализируя величины таксационных показателей, следует отметить, что всем им свойственен значительный диапазон как в категории растущих деревьев, так и погибших.

Таблица 3

Таксационные и статистические показатели по состоянию деревьев**Taxation and statistical indicators on the condition of trees**

Возраст	Бонитет	Статистические показатели	Таксационные показатели				
			Д _{1,3} ,см	Н, м	Дкр, м	Скр, м²	V, м³
Растущие							
49	II	Среднее	41,9	17,1	6,81	40,23	1,17
		Максимум	60,0	21,5	10,3	83,30	2,39
		Минимум	23,5	11,2	4,60	16,60	0,27
		Станд. ошибка	3,39	1,09	0,70	8,09	0,21
		Станд. отклонение	11,26	3,62	2,32	26,84	0,69
		Уровень надежности (95%)	7,56	2,43	1,56	18,03	0,46
Погибшие							
40	III	Среднее	30,2	11,5	4,38	15,75	0,42
		Максимум	42,0	15,2	6,00	28,30	0,87
		Минимум	14,3	7,0	2,40	4,50	0,09
		Станд. ошибка	1,87	0,57	0,20	1,31	0,05
		Станд. отклонение	8,56	2,60	0,94	5,98	0,24
		Уровень надежности (95%)	3,90	1,18	0,43	2,72	0,11

Примечание. Д_{1,3} – диаметр на высоте груди, Н – высота, Дкр – диаметр кроны, Скр – площадь проекции кроны, V – объем ствола.

На момент проведения исследований возраст растущих деревьев составил 49 лет со II бонитетом. Возраст в категории погибших деревьев в среднем составил 40 лет при III бонитете. Погибшие деревья – это стволы поваленных деревьев после засухи 2010 г. Кроме поваленных деревьев, на объекте не установлено признаков более ранней гибели деревьев (сгнившие стволы, пни), что подчеркивает их развитие по плантационной схеме в результате изреживания на раннем этапе развития. Так расстояния между деревьями в среднем составляют 8,04 м, а расстояния от таксируемого дерева до 3-го соседнего ствола – 13,6 м. При этом соотношение площадей проекций крон деревьев с высотами можно описать уравнением линейной

зависимости с низкой степенью аппроксимации $R^2 = 0,18$ (рис. 4), что связано с процессами формирования кроны дерева.

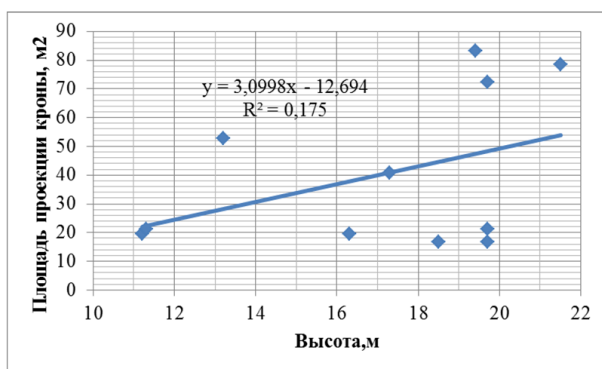


Рис. 4. Соотношение площадей проекций крон с высотами деревьев

Fig. 4. Correlation of the areas of crown projections with tree heights

На территории исследуемого участка запас древесины составил $12,89 \text{ м}^3$ или $63,7 \text{ м}^3/\text{га}$. В соответствии с требованиями² по технической годности (качеству) деревья распределились на участке на три категории следующим образом (%): деловая – 36,4; полуделовая – 45,5 и дрова – 18,1. По сравнению с дровами, преобладание категорий деловая и полуделовая указывает на успешный процесс адаптации, наряду с преобладанием среди деревьев прямоствольных форм с ветвлением в верхней части кроны.

Соотношения показателей диаметра на высоте груди и высоты у здоровых деревьев можно описать уравнением полиномиальной зависимости со степенью аппроксимации $R^2 = 0,52$. С учетом расположения кривой на графике можно сделать вывод об ограничении дальнейшего роста деревьев в высоту, что совпадает с эколого-биологическими свойствами вида при соответствующем размещении на площади (рис. 5а). На рис. 5б наблюдаем разброс величин показателей среди погибших деревьев, что указывает на причину выпадения в результате поражения пузырчатой ржавчиной с обострением от ухудшения условий во время засухи 2010 года.

² Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ «Об утверждении Порядка отвода и таксации лесосек» от 17 октября 2022 года № 688. URL: <https://docs.cntd.ru/document/352246458>

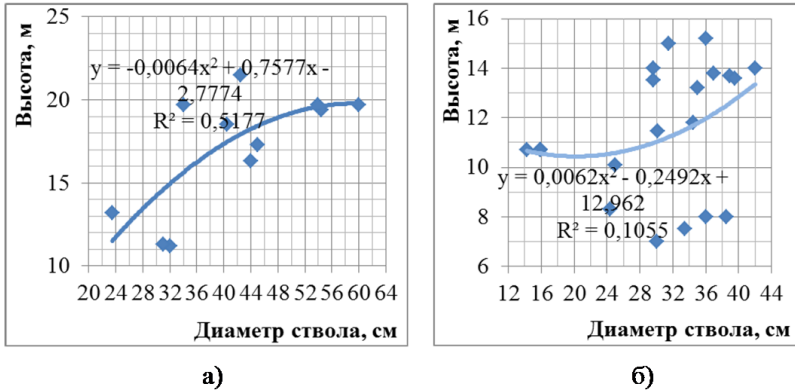


Рис. 5. Соотношения показателей диаметра на высоте груди и высоты деревьев: здоровых – а); погибших – б)

Fig. 5. Ratios of diameter indices at breast height and tree height: healthy – а); dead – б)

Для сравнения роста деревьев вида на наблюдаемом объекте и в условиях естественного ареала приведен материал из источника [Wright et al., 1959], отображенный в табл. 4.

Таблица 4

**Таксационные показатели породы на исследуемом участке
в сравнении с данными в естественном ареале**

**Taxational indicators of the breed in the study area in comparison
with data in the natural range**

Таксационные показатели	Местонахождения насаждений			
	исследуемый участок	парк Дюран Ист- ман (Рочестер)	Хайленд-парк (Рочестер)	Филадельфия
Высота, м	11,2–21,5	5,8–7,0	12,8–15,2	10,7–12,2
Диаметр ствола, см	24–60	25–30	28–43	24–35
Возраст, лет	49	33	40–45	25
Бонитет	II	IV	II	I

Несмотря на различия по бонитету на объектах в условиях естественного ареала, что связано с их местоположением и условиями произрастания, необходимо обратить внимание на заметный разбег величин таксаци-

онных показателей как в условиях произрастания в ареале, так и при интродукции. Это вполне согласуется с мнением, что у сосны гибкой достаточно высокий уровень количественной генетической изменчивости внутри популяций [Barb, 2017].

При рассмотрении коэффициентов парной корреляции показателей роста и развития сосны гибкой наиболее результативными следует считать показатели: протяженности ствола с живой кроной (hств); объема кроны (Vкр) и объема ствола (V) (табл. 5). При этом из столь значимых показателей размещения деревьев на площади, как расстояния между деревьями и расстояния от таксируемого дерева до 3-го соседнего ствола, лишь расстояния между деревьями коррелируют с величинами таких показателей, как диаметр на высоте груди, высота дерева, протяженность ствола с живой кроной и объем ствола. Отсюда можно считать закладываемую схему размещения на площади (4,5×3 м) вполне приемлемой при условии, что на одном посадочном месте располагается 3 саженца с расстоянием между ними 1 м.

Таблица 5

**Линейные коэффициенты парной корреляции показателей роста
и развития сосны гибкой**

**Linear coefficients of pair correlation of growth and development indicators
of limber pine**

Показатели	Д _{1,3} , см	Н, м	hж.в., м	hств., м	Дкр., м	Скр., м ²	Vкр., м ³	V, м ³	L, м	l, м
Д _{1,3} , см	1									
Н, м	0,69	1,00								
hж.в., м	-0,46	-0,03	1,00							
hств., м	0,78	0,66	-0,77	1,00						
Дкр., м	0,36	0,39	-0,44	0,57	1,00					
Скр., м ²	0,39	0,42	-0,48	0,62	1,00	1,00				
Vкр., м ³	0,54	0,57	-0,63	0,83	0,89	0,92	1,00			
V, м ³	0,98	0,76	-0,44	0,81	0,44	0,47	0,60	1,00		
L, м	-0,03	-0,20	0,00	-0,13	0,04	0,04	-0,06	0,01	1,00	
l, м	-0,53	-0,70	0,04	-0,47	-0,08	-0,11	-0,26	-0,56	0,49	1

Примечание. Д_{1,3} – диаметр на высоте груди, Н – высота, hж.в. – высота живой ветви, hств. – протяженность ствола с живой кроной, Дкр. – диаметр кроны, Скр. – площадь проекции кроны, Vкр. – объем кроны, V – объем ствола, li – расстояния между деревьями, Li – расстояния от таксируемого дерева до 3-го соседнего ствола

С целью исследования хода роста в высоту были отобраны две модели из поваленных деревьев с близкими величинами по диаметру: I – 34 и II – 37 см, где текущий прирост устанавливался по мутовкам (рис. 6).

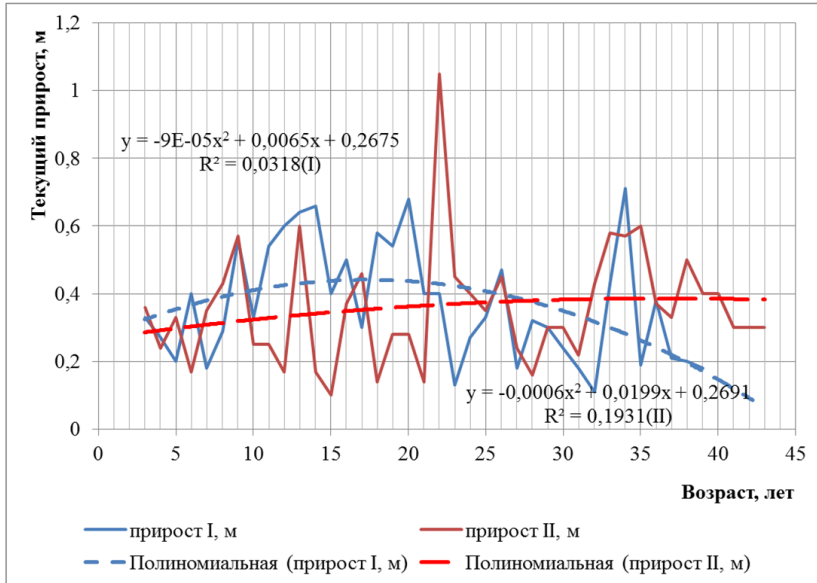


Рис. 6. Текущий прирост в высоту модельных деревьев

Fig. 6. Current growth in height of model trees

Различия хода роста в высоту у моделей можно описать уравнениями полиномиальной зависимости с низкими степенями аппроксимации, объяснение этому кроется в принципе построения кроны – ветвлении. Особенности у моделей необходимо считать их различный возраст: у I – 37 лет и у II – 43 года, а также годы ветвления основного ствола при одинаковом количестве (4 ветвления): у I – 15, 17, 19, 22 год и у II – 9, 22, 26 и 30 год. Как видно, по ветвлению ствола наблюдается принципиальное отличие у моделей, что наложило отпечаток на состояние дерева. При этом средний текущий прирост у обеих моделей одинаков и составил у I – 0,37 м, а у II – 0,36 м. Предположительно, обильное и частое ветвление следует считать неблагоприятным признаком развития дерева, если это не происходит с начального этапа (6–10 лет).

По глазомерной оценке урожая, предложенной Каппером В.Г., балл урожая составляет 4; по шкале Т.П. Некрасовой – 3 [Денко и др., 2012]. Активное семеношение (после 40 лет) (рис. 7а) при наличии самосева (рис. 7б) можно считать одним из проявлений успешной адаптации вида.

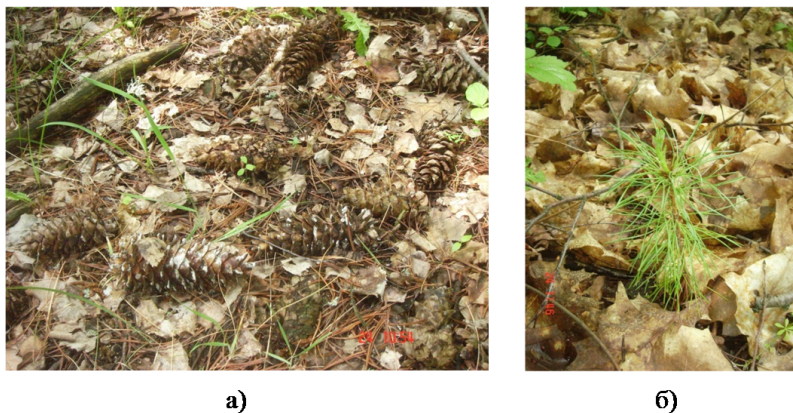


Рис. 7. Шишки семеноносящего дерева – а); самосев – б)
Fig. 7. Cones of a seed-bearing tree – а); self-seeding – б)

Также проведенные автором исследования на территории Лесостепной опытно-селекционной станции (ЛОСС, Липецкая область) на основании полученных средних показателей: диаметра – 25,8 см; высоты – 10,8 м; бонитета – III в возрасте 35 лет при сохранности деревьев 33,3%, подчеркивают устойчивую адаптацию вида к условиям местопроизрастания.

Необходимо обратить внимание, что сосна гибкая в сравнении с сосной обыкновенной, произрастающей при типе А₂ с редким размещением (от нормальной густоты 66%) – 1190 шт./га, в возрасте 50 лет [Рубцов, 1969] имеет следующие соотношения по средним показателям: превышения по диаметру на 127, 7%; по объему ствола на 317,8%; снижение по высоте на 7,6%.

Бесспорно, что в перспективе необходимыми действиями следует считать проведение инокуляции патогеном (*Cronartium ribicola*) хвои сеянцев, выращенных из семян от отобранных устойчивых деревьев, а также фиксирование признака, ограничивающего формирование раскидистой кроны, путем прививки привоя от выявленных деревьев на подвой сосны крымской (*Pinus nigra subsp. pallasiana* (Lamb.) Holmboe), устойчивой к корневой губке. В настоящий момент на выращенных из семян саженцах с закрытой корневой системой (возраст 12 лет) не наблюдается проявлений патогена. Теоретически, инокуляция патогенным грибом должна оказывать сильное давление направленного отбора, тем самым сужая генетическую изменчивость за счет удаления восприимчивых осо-

бей и сдвига популяции к новому оптимуму. Компенсация воздействия вредителей и патогенов является известной реакцией, которая позволяет хозяину восстановиться после негативного взаимодействия и компенсировать энергоемкие затраты на защиту [Dietrich et al., 2005]. Существенным является и то, что возраст деревьев – 49 лет, а возбудитель пузырчатой ржавчины сильно поражает сосны в молодом возрасте (20–30 лет) [Горленко и др., 1988].

Также весьма ценным приобретением следует считать, что за время произрастания сформировалась эктомикориза, которая благоприятно влияет на развитие и рост деревьев. По имеющейся информации известно, что грибковые сообщества формируются с помощью процессов, специфичных для данного места и изменения факторов окружающей среды, таких как местный климат [Cooper, 2021]. Сообщается, что сообщества грибов, ассоциированных с корнями, различались у сосен *Pinus flexilis* и *Pinus longaeva*, в то время как сообщества грибов, ассоциированных с почвой, были сходными. Возраст деревьев был связан с составом сообществ корневых грибов на сосне гибкой и продемонстрировал возрастающее различие между почвенными и корневыми сообществами с ее возрастом. Потенциальное влияние возраста дерева на сообщества корневых грибов предполагает изменение видового состава по мере взросления деревьев в течение нескольких столетий [Cooper, 2021]. Это оказывает существенное влияние на развитие деревьев и указывает на необходимость выбора: изначально благоприятных условий местопроизрастания; предварительного, до посадки семян, заселения их корневой системы необходимой эктомикоризой.

Выводы. Анализ исследуемого материала показывает, что сосна гибкая на плодородной почве успешно адаптировалась в условиях Воронежской области.

Порода в культуре по сравнению с сосной обыкновенной, произрастающей при типе А₂ с редким размещением 1190 шт./га в возрасте 50 лет имеет следующие соотношения по средним показателям: превышения по диаметру на 127,7%; по объему ствола на 317,8%; снижение по высоте на 7,6%. Преобладание категорий деловая и полуделовая указывает на успешный процесс адаптации, наряду с превышением среди деревьев прямоствольных форм с ветвлением в верхней части кроны. Обильное и частое ветвление следует считать неблагоприятным признаком развития дерева, если это не происходит с начального этапа (6–10 лет).

Активное семеношение (после 40 лет) дает возможность получать урожай съедобных «орешков», а наличие самосева предопределяет получение посадочного материала.

Схему размещения на площади (4,5×3 м) следует считать вполне приемлемой при условии, что на одном посадочном месте располагается 3 саженца с расстоянием между ними 1 м.

В перспективе необходимы следующие направления исследований:

- инокуляция патогеном (*Cronartium ribicola*) хвои сеянцев, выращенных из семян устойчивых к патогену деревьев, с целью отбора невосприимчивых особей;
- фиксирование признака формирования одного ствола у дерева путем прививки привоя от выявленных деревьев на подвой сосны крымской, устойчивой к корневой губке;
- выявление необходимой эктомикоризы для заселения корневой системы до посадки материала.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

Болотов Н.А., Щеглов Д.И., Беляев А.Б. Лесная интродукция. Экология, лесоводственные особенности, районирование, перспективы внедрения лесообразующих экзотов. Воронеж: Воронежский государственный университет, 2005. 496 с.

Вавилов Н.И. Происхождение и география культурных растений. Л.: Наука, 1987. 440 с.

Горленко С.В., Блинцов А.И., Панько Н.А. Устойчивость древесных интродуцентов к биотическим факторам. Мн.: Наука и техника, 1988. 189 с.

Денек В.Н., Капранов А.В., Садриева Л.Л. Учет урожая лесных семян: метод. указания к проведению практ. занятия для студентов ЛХФ очной и заочной форм обучения. Екатеринбург: УГЛТУ, 2012. 14 с.

Курнаев С.Ф. Лесорастительное районирование СССР. М.: Наука, 1973. 203 с.

Машкин С.И. Дендрология Центрального Черноземья. Систематика, карпология, география, генезис, экология и использование местных и интродуцированных деревьев и кустарников. Воронеж: Изд-во Воронежского университета, 1971. 344 с.

Мелехов И.С. Интродукция хвойных в лесном хозяйстве // Лесоведение. 1984. № 6. С. 72–73.

Нестерович Н.Ф., Дерюгина Т.Ф., Лучков А.И. Структурные особенности листьев хвойных. Мн.: Наука и техника, 1986. 143 с.

Рубцов В.И. Культуры сосны в лесостепи. М.: Лесн. пром-сть, 1969. 228 с.

Справочник по декоративным деревьям и кустарникам европейской части СССР. М.: Изд-во коммунального хозяйства РСФСР, 1953. 530 с.

Сукачев В.Н. Некоторые итоги работы и ближайшие задачи Института леса в области лесоведения // Труды Института леса АН СССР. Т. III. 1950. С. 5–8.

Barb Gass. Quantitative trait variation in limber pine (*Pinus flexilis*): diss. Master of Science – MSc biology: 10.14288/1.0340606. The university of British Columbia, 2017. 98 p.

Bruederle L., Tomback D., Kelly K., Hardwick R. Population genetic structure in a bird-dispersed pine, *Pinus albicaulis* (Pinaceae) // Canadian Journal of Botany-Revue Canadienne De Botanique. 1998. Vol. 76(1). P 83–90. doi:10.1139/b97-162

Carsey K., Tomback D. Growth form distribution and genetic relationships in tree clusters of *Pinus flexilis*, a bird-dispersed pine // Environmental Science, Oecologia. 1994. Vol. 98. P. 402–411. DOI: 10.1007/BF00324230

Cooper Joseph. An exploration of aboveground and belowground interactions that shape forest dynamics // University of Alberta, Spring. 2021. doi.org/10.7939/r3-6c9e-hf48

Dietrich R., Ploss K., Heil M. Growth responses and fitness costs after induction of pathogen resistance depend on environmental conditions // Plant, Cell and Environment. 2005. Vol. 28(2). P. 211–222. DOI: 10.1111/j.1365-3040.2004.01265.x

Kamil A., Cheng K. Finding and Landmarks: The Multiple Bearings Hypothesis // Journal of Experimental Biology. 2001. Vol. 204(1). P. 103–113. DOI: 10.1242/jeb.204.1.103

Kremer A., Ronce O., Robledo-Arnuncio J., Guillaume F., Bohreer G. et al. Long-distance gene flow and adaptation of forest trees to rapid climate change // Ecology Letters. 2012. Vol. 15. P. 378–392. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2012.01746.x

Lanner R.M., Hutchins H.E. Bristlecone pine and Clark's Nutcracker: probable interaction in the White Mountains, California // Great Basin Naturalist. 1984. Vol. 44(2). P. 357–360. URL: <https://scholarsarchive.byu.edu/gbn/vol44/iss2/19>

Mitton J., Kreise B., Latta R. Glacial refugia of limber pine (*Pinus flexilis* James) inferred from the population structure of mitochondrial DNA // Molecular Ecology. 2000. Vol. 9. P. 91–97. DOI: 10.1046/j.1365-294x.2000.00840.x

Schoettle W., Rochelle S.G. Morphological variation of *Pinus flexilis* (Pinaceae), a bird-dispersed pine, across a range of elevations // Botanical Society of America. 2000. Vol. 87(12). P. 1797–1806. doi.org/10.2307/2656832

Vander Wall S.B., Balda R.P. Coadaptations of the Clark's Nutcracker and the Pinon Pine for Efficient Seed Harvest and Dispersal // Ecology. 1977. Vol. 47. P. 89–111. dx.doi.org/10.2307/1942225.

Windmuller-Campione M.A., Long J.N. Limber Pine (*Pinus flexilis* James), a Flexible Generalist of Forest Communities in the Intermountain West // PLoS ONE. 2016. Vol. 11(8). DOI: 10.1371/journal.pone.0160324

Wright J.W., Gabriel W.J. White pine Breeding, white pine insect resistance Genetic aspects // Northeastern Forest Experiment Station: Upper Darby. 1959. No. 115. 39 p.

References

Barb Gass. Quantitative trait variation in limber pine (*Pinus flexilis*): diss. Master of Science – MSc biology: 10.14288/1.0340606. The university of British Columbia, 2017. 98 p.

Bolotov N.A., Shcheglov D.I., Belyaev A.B. Forest introduction. Ecology, silvicultural features, zoning, and prospects for introduction of forest-forming exotics. Voronezh: Voronezh State University, 2005. 496 p. (In Russ.)

Bruederle L., Tomback D., Kelly K., Hardwick R. Population genetic structure in a bird-dispersed pine, *Pinus albicaulis* (Pinaceae). *Canadian Journal of Botany-Revue Canadienne De Botanique*, 1998, vol. 76(1), pp. 83–90. DOI: 10.1139/b97-162

Carsey K., Tomback D. Growth form distribution and genetic relationships in tree clusters of *Pinus flexilis*, a bird-dispersed pine. *Environmental Science, Oecologia*, 1994, vol. 98, pp. 402–411. DOI: 10.1007/BF00324230

Cooper Joseph. An exploration of aboveground and belowground interactions that shape forest dynamics. *University of Alberta*, Spring. 2021. doi.org/10.7939/r3-6c9e-hf48

Denenko V.N., Kapralov A.V., Sadrieva L.L. Accounting forest seed yield: method. instructions for the practical training for students of full-time and correspondence forms of training. Yekaterinburg: UGLTU, 2012. 14 p. (In Russ.)

Dietrich R., Ploss K., Heil M. Growth responses and fitness costs after induction of pathogen resistance depend on environmental conditions. *Plant, Cell and Environment*, 2005, vol. 28(2), pp. 211–222. DOI: 10.1111/j.1365-3040.2004.01265.x

Gorlenko S.V., Blintsov A.I., Panko N.A. Stability of tree introductants to biotic factors. Mn.: Science and Technology, 1988. 189 p. (In Russ.)

Kamil A., Cheng K. Finding and Landmarks: The Multiple Bearings Hypothesis. *Journal of Experimental Biology*, 2001, vol. 204(1), pp. 103–113. DOI: 10.1242/jeb.204.1.103

Kremer A., Ronce O., Robledo-Arnuncio J., Guillaume F., Bohreer G. et al. Long-distance gene flow and adaptation of forest trees to rapid climate change. *Ecology Letters*, 2012, vol.15, pp. 378–392. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2012.01746.x

Kurnaev S.F. Forest-growing zoning of the USSR. M.: Nauka, 1973. 203 p. (In Russ.)

Lanner R.M., Hutchins H.E. Bristlecone pine and Clark's Nutcracker: probable interaction in the White Mountains, California. *Great Basin Naturalist*, 1984, vol.44(2), pp. 357–360. URL: <https://scholarsarchive.byu.edu/gbn/vol44/iss2/19>

Mashkin S.I. Dendrology of the Central Chernozem region. Systematics, karyology, geography, genesis, ecology and use of local and introduced trees and shrubs. Voronezh: Voronezh University Press, 1971. 344 p. (In Russ.)

Melekhov I.S. Introduction of conifers in forestry. *Forest Science*, 1984, no. 6, pp. 72–73. (In Russ.)

Mitton J., Kreise, B., Latta R. Glacial refugia of limber pine (*Pinus flexilis* James) inferred from the population structure of mitochondrial DNA. *Molecular Ecology*, 2000, vol. 9, pp. 91–97. DOI: 10.1046/j.1365-294x.2000.00840.x

Nesterovich N.F., Derugina T.F., Luchkov A.I. Structural features of leaves of conifers. Minsk: Science and Technology, 1986. 143 p. (In Russ.)

Reference book on ornamental trees and shrubs of the European part of the USSR. M.: Publishing house of communal economy of RSFSR, 1953. 530 p. (In Russ.)

Rubtsov V.I. Pine cultures in the forest-steppe. M.: Forest industry, 1969. 228 p. (In Russ.)

Schoettle W., Rochelle S.G. Morphological variation of *Pinus flexilis* (Pinaceae), a bird-dispersed pine, across a range of elevations. *Botanical Society of America*, 2000, vol. 87(12), pp. 1797–1806. doi.org/10.2307/2656832

Sukachev V.N. Some results of work and the nearest tasks of the Forest Institute in the field of arboriculture. *Proc. Institute of Forestry of the Academy of Sciences of the USSR*, vol. III, 1950, pp. 5–8. (In Russ.)

Vander Wall S.B., Balda R.P. Coadaptations of the Clark's Nutcracker and the Pinon Pine for Efficient Seed Harvest and Dispersal. *Ecology*, 1977, vol. 47, pp. 89–111. dx.doi.org/10.2307/1942225.

Vavilov N.I. Origin and geography of cultivated plants. L.: Nauka, 1987. 440 p. (In Russ.)

Windmuller-Campione M.A., Long J.N. Limber Pine (*Pinus flexilis* James), a Flexible Generalist of Forest Communities in the Intermountain West. *PLoS ONE*, 2016, vol. 11(8). DOI: 10.1371/journal.pone.0160324

Wright J.W., Gabriel W.J. White pine Breeding, white pine insect resistance Genetic aspects. *Northeastern Forest Experiment Station: Upper Darby*, 1959, no. 115. 39 p.

Материал поступил в редакцию 29.06.2023

Левин С.В. Рост и развитие сосны гибкой (*Pinus flexilis* James) при ее интродукции в Воронежской области // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2024. Вып. 248. С. 171–191. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.248.171-191

В соответствии с лесоинтродукционным районированием Воронежская область входит в зону средней перспективности, где предполагается экономический эффект лесоинтродукционных мероприятий на 15–25% выше уровня эффекта выращивания культур местных видов. Здесь одной из перспективных орехоплодных хвойных пород испытывается сосна гибкая (*Pinus flexilis* James). Целью исследования ставится рассмотрение в сравнении с условиями естествен-

ного ареала развития и состояния сосны гибкой на территории Воронежской области. Установлено, что по декоративности сосна гибкая превосходит сосну обыкновенную, являясь видом с высокой степенью адаптивности к засушливым условиям и морозоустойчивым. К возрасту 49 лет наблюдаются ограничения дальнейшего роста деревьев в высоту. Разбег величин таксационных показателей при интродукции, как и в условиях произрастания в ареале, согласуется с мнением, что у сосны гибкой достаточно высокий уровень количественной генетической изменчивости внутри популяций. Выявлены устойчивые к патогену (*Cronartium ribicola*) деревья. При этом обильное и частое ветвление следует считать неблагоприятным признаком развития дерева, если это не происходит с начального этапа (6–10 лет). Схема размещения на площади 4,5×3 м вполне приемлема при условии, что на одном посадочном месте располагается 3 саженца с расстоянием между ними 1 м.

Ключевые слова: сосна гибкая, интродукция, естественный ареал, высота, диаметр на высоте груди, диаметры проекций крон, форма кроны, ход роста в высоту.

Levin S.V. Growth and development of flexible pine (*Pinus flexilis* James) at its introduction in Voronezh region. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2024, iss. 248, pp. 171–191 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2024.248.171-191

According to the forest introduction zoning Voronezh region is included in the zone of medium potential, where the economic effect of forest introduction measures is supposed to be 15-25% higher than the effect of cultivation of native species. Here one of the promising nut-bearing conifers is tested pine flexible (*Pinus flexilis* James). The aim of the study is to consider in comparison with the conditions of natural habitat development and condition of bent pine in the territory of Voronezh region. It was found that flex pine surpasses Scots pine in ornamentality, being a species with a high degree of adaptability to arid conditions and frost-resistant. By the age of 49 years, there are restrictions on further growth of trees in height. The range of values of taxation indicators at introduction, as well as in the conditions of growth in the area, agrees with the opinion that the pine has a fairly high level of quantitative genetic variability within populations. Trees resistant to the pathogen (*Cronartium ribicola*) were identified. At the same time, abundant and frequent branching should be considered an unfavorable sign of tree development if it does not occur from the initial stage (6–10 years). The scheme of placement in the area (4,5 × 3 m) is quite acceptable, provided that there are 3 seedlings with a distance of 1 m between them in one planting place.

Keywords: bending pine, introduction, natural habitat, height, diameter at breast height, crown projection diameters, crown shape, growth course in height.

ЛЕВИН Сергей Валерьевич – научный сотрудник отдела опытных испытаний «Всероссийского научно-исследовательского института лесной генетики, селекции и биотехнологии», кандидат сельскохозяйственных наук. ORCID 0000-0002-9018-5875; SPIN-код: 3091-7296.

394087, ул. Ломоносова, д. 105, г. Воронеж, Россия. E-mail: leslesovik63@yandex.ru

LEVIN Sergey V. – PhD (Agriculture), research scientist of the Department of experimental study, «All-Russian Research Institute of Forest Genetics, Breeding and Biotechnology». ORCID 0000-0002-9018-5875; SPIN-code: 3091-7296.

394087. Lomonosova str. 105. Voronezh. Russia. E-mail: leslesovik63@yandex.ru