

«УТВЕРЖДАЮ»
Проректор по научной работе и
инновациям Федерального
государственного автономного
образовательного учреждения высшего
образования «Пермский государственный
национальный исследовательский
университет»



Кандидат физико-математических наук,
Ирха Владимир Александрович

« 19 » феврале 2025 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский государственный национальный исследовательский университет» на диссертацию **Белоконя Юрия Сергеевича** «Генетическая структура популяций кедрового стланика, *Pinus pumila* (Pall.) Regel, в восточной части ареала», представленную к защите на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.7 – Генетика (биологические науки)

Актуальность темы диссертационной работы. Исследование механизмов функционирования экосистем через изучение становления и поддержания генетической структуры видов невозможно без оценки их генетического разнообразия. Кедровый стланик, *Pinus pumila* (Pall.) Regel, занимает обширный ареал от восточного побережья оз. Байкал до тихоокеанского побережья Азии. Ряд биологических особенностей позволяют виду занимать территории, часто не приспособленные для роста других древесных растений. На значительных пространствах стланик успешно произрастает в условиях сурового климата, вечной мерзлоты и обеднённых почв. При этом вид является эдификатором для биологических сообществ северо-восточной части Азии. Изучение механизмов формирования генетической структуры популяций кедрового стланика и их генетического разнообразия является актуальной задачей ввиду глобальных климатических изменений.

Научная новизна диссертационной работы. Соискателем впервые получены данные о полиморфизме ряда аллозимных локусов в 42 популяциях кедрового стланика, установлены уровни генетического полиморфизма в популяциях из восточной части ареала и степень дифференциации между ними. Впервые в северо-восточной части зоны симпатрии *P. pumila* и *P. sibirica* выявлена однонаправленная межвидовая гибридизация с образованием гибридов первого и последующих поколений, при этом митохондриальная ДНК у всех гибридов наследуется от *P. pumila*. Автором впервые проведен анализ родства особей в популяции кедрового стланика и исследована кластерная структуры естественного насаждения. На материале из 11 популяций восточной части ареала впервые проанализированы система скрещивания и динамика гетерозиготности на разных стадиях жизненного цикла *P. pumila*. На основе данных о полиморфизме аллозимных локусов 32 популяций впервые проведен анализ распределения частот аллелей на ареале кедрового стланика и выявлены корреляции частот аллелей ряда локусов с географическими координатами и биоклиматическими переменными.

Теоретическая и практическая значимость диссертационной работы. Диссертационная работа Белоконя Ю.С. выполнена с применением аллозимных локусов (ядерных кодоминантных маркеров), позволяющих изучать формирование генетической изменчивости в популяциях под воздействием естественного отбора и выявлять факторы пространственно-временной динамики генетической изменчивости. Данные, полученные автором, могут быть применены при установлении возможных ассоциаций аллозимных фенотипов с адаптивными признаками в дальнейших геномных исследованиях. Полученные результаты могут использоваться для мониторинга и прогноза состояния генофондов древесных растений как основы разнообразных широко распространённых экосистем. Полученные результаты могут применяться в практике принятия решений по управлению особо охраняемыми природными территориями и другими важными в экологическом отношении биоценозами Восточной Сибири и Дальнего Востока. Результаты также могут быть введены в практику высшего образования как примеры применения молекулярно-генетических подходов в популяционно-генетическом мониторинге и природоохранной деятельности при обучении студентов, магистрантов и аспирантов по специальностям «Генетика», «Экология» и «Ботаника».

Материалы диссертации были представлены в виде устных докладов на российских и международных конференциях. Основные научные

результаты опубликованы в рецензируемых научных изданиях, в том числе пять статей в журналах, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus и рекомендованных ВАК для защиты диссертаций, а также в 20 тезисах и статьях в сборниках научных конференций. Личный вклад автора в диссертационную работу не вызывает сомнений.

Степень разработанности темы, цель и задачи. Генетическая изменчивость и межпопуляционная дифференциация достаточно изучены у многих представителей семейства *Pinaceae*. Диссертант обобщил и систематизировал данные литературных и электронных источников по этим направлениям у кедрового стланика, сделал вывод об недостаточной изученности многих аспектов этой научной проблемы. Необходимо изучение механизмов формирования генетической изменчивости кедрового стланика в регионе исследований и вклада в них системы скрещивания. Детальный анализ имеющихся результатов по проблеме исследований позволил диссертанту обоснованно поставить цель и сформулировать задачи диссертационного исследования.

Достоверность полученных результатов. Достоверность результатов подтверждается большим числом эмпирического материала. Исследованы 42 выборки, отобранные на обширной части ареала кедрового стланика. Для решения поставленных задач использованы аллозимные локусы, кодирующие синтез 18 ферментных систем, а также генетические маркеры митохондриальной ДНК. Исследованы генетическая структура, пространственная и временная динамика генетической изменчивости.

Статистическая обработка полученных данных проведена на высоком методическом уровне с использованием соответствующего современного программного обеспечения (BIOSYS-2, POPGENE, GenAlEx V.6.5; модули пакета программ PHYLIP v3.695, STRUCTURE v.2.3.4, NewHybrids 1.1_b3, Coancestry, ML-Relate, MLTR 3.4, MDStudio2). Полученные данные не противоречат данным других исследователей.

Структура и содержание диссертационной работы. Диссертация имеет традиционную структуру, изложена на 183 страницах и включает следующие разделы: «Введение», «Обзор литературы», «Материалы и методы», «Результаты и обсуждение», «Заключение», «Выводы», «Список литературы», «Приложения». Работа содержит 20 таблиц в тексте и 4 в Приложениях, и 51 рисунок. Список литературы включает 216 литературных источников (из которых 145 на иностранных языках).

Во «Введении» автор обосновывает актуальность проблемы, описывает современное состояние области исследования, формулирует

поставленную цель и задачи, решаемые в ходе проведенного исследования, научную новизну работы, теоретическую и практическую значимость, приводит положения, выносимые на защиту, декларирует свое личное участие. В разделе представлены апробация работы и публикации в журналах и сборниках конференций.

В главе «Обзор литературы» содержатся сведения о систематическом положении и биологических особенностях объекта исследования, распространении вида в экосистемах, взаимоотношениях с другими видами сосен подсекции *Strobi*; рассмотрены факторы, влияющие на формирование популяций. В этой главе приведены преимущества хвойных для генетического анализа, дан краткий обзор генетических маркеров, применяемых для исследования популяций хвойных и обсуждается возможность анализа пространственного распределения генетического разнообразия на ареале.

В главе «Материалы и методы» автор представил характеристику исследованных выборок, подробно описал методики проведения анализа аллозимов и мтДНК. В разделе «Методы статистического анализа» перечислены примененные автором соответствующие цели и задачам исследования статистические подходы и методы обработки полученных экспериментальных данных при помощи современного программного обеспечения.

В главе «Результаты и обсуждение» Ю.С. Белоконь привел качественные фотографии и схемы электрофореграмм, описал аллельное разнообразие кедрового стланика по 29 аллозимным локусам в 42 изученных популяциях, рассчитал показатели внутри- и межпопуляционной изменчивости как для отдельных 29 популяций из восточной части ареала, так и их региональных групп. В разделе «Анализ гибридизации кедрового стланика и сосны кедровой сибирской на юге Якутии» рассмотрена структура гибридных популяций из северо-восточной части зоны перекрывания ареалов этих видов и показано, что все изученные деревья сосны кедровой сибирской обладают гаплотипом мтДНК, характерным для кедрового стланика. Этот результат имеет большую ценность в виду того, что в других частях зоны перекрывания ареалов гибридизация идет двунаправленно. По-видимому, автору удалось выявить механизм быстрого распространения *P. sibirica* и заселение им новых территорий. На примере модельной популяции *P. pumila* оценена степень родства особей внутри многоствольных куртин, проанализирована клоновая структура и проведено сравнение с одноствольными формами. При использовании в исследовании тканей гаплоидных мегагаметофитов

(эндоспермов) и диплоидных зародышей семян получены однолокусные и многолокусные оценки долей перекрестного опыления и коэффициенты инбридинга среди материнских деревьев и зародышей их семян (второго поколения). Анализ наблюдаемых и ожидаемых распределений генотипов и отклонений от равновесия Харди-Вайнберга в выборках зародышей в целом показал наличие значительного дефицита гетерозигот. Автор подробно рассматривает причины различий в уровнях перекрестного опыления и наглядно демонстрирует возрастную динамику гетерозиготности в этих популяциях, указывая на причины отклонений от нормальных процессов. По локусам, вносящим наибольший вклад в межпопуляционную дифференцию и имеющим значения F_{ST} выше среднего, выявлены значимые корреляции частот аллелей с географическими координатами. Для ряда локусов установлены значимые связи частот аллелей со значениями температурных биоклиматических переменных, уровней осадков и инсоляции по месяцам из базы климатических данных WorldClim. Привлечение материала из большого числа выборок и использование картографической основы, географических координат мест сбора материала и значений признака (частота аллеля, значение наблюдаемой гетерозиготности) позволило автору построить изолинейные карты-схемы распределения признаков на ареале кедрового стланика.

В завершение работы дано «Заклучение», обобщающее результаты, полученные диссертантом. Список литературы, большей частью, включает источники, необходимые для обобщения литературных данных и анализа полученных результатов. Приложение содержит 4 раздела, иллюстрирующие данные молекулярно-генетического и статистического анализов.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций. Исследование проведено с использованием комплекса различных подходов и методов, соответствующих задачам диссертационной работы. Объектами исследований являлось большое число (42) выборок кедрового стланика, расположенных на большой территории. Для достижения цели и поставленных задач диссертантом проведены разноплановые исследования генетической структуры популяций кедрового стланика, а также выявлены формирующие популяционную структуру механизмы. Для достижения цели диссертационного исследования определены уровни генетического разнообразия и межпопуляционной подразделенности кедрового стланика в регионе исследований, выявлены генетические детерминанты,

характерные для гибридов *P. pumila* и *P. sibirica* особенности системы скрещивания, зависимость генетической изменчивости от климатических условий региона исследований. Полученные в диссертации результаты, сформулированные научные положения, сделанные выводы основаны на теоретическом обобщении результатов научной литературы, сравнении полученных диссертантом данных с результатами, представленными учеными в информационных научных источниках; а также на закономерностях, выявленных в результате собственных научных исследований. Все эти аргументы свидетельствуют об обоснованности разработанных и защищаемых 6 научных положений, хорошо согласующихся с данными экспериментов и научными выводами. В связи с этим, научные положения, выводы и рекомендации диссертации достаточно обоснованы.

Автореферат диссертационной работы Ю.С. Белокопя соответствует основным положениям диссертации и адекватно отражает ее содержание.

При изучении диссертационной работы возникли следующие **вопросы:**

1. В диссертационную работу не включены описания аллозимной изменчивости (аллельного состава и частот) выборки *P. sibirica*. Каковы различия аллозимных спектров *P. pumila* и *P. sibirica* при анализе их гибридизации?

2. Какие практические предложения можно сделать на основе выявленной в диссертационной работе закономерности, а именно связи значений частот аллелей 16 локусов с географическими координатами, отражающие паттерны расселения и экологическую дифференциацию в гетерогенных условиях среды (раздел 3.7. Главы 3 3.7)?

Несмотря на общий высокий научный уровень работы, можно сделать **некоторые замечания и предложения:**

1. В соответствии с ботанической номенклатурой латинские названия приводятся в первый раз полностью с указанием автора – *Pinus pumila* (Pall.) Regel, а в дальнейшем сокращенно – *P. pumila*.

2. Обобщить в конце диссертации, возможно, в отдельной подглаве или в отдельном абзаце в Заключение, рекомендации и практические предложения, представленные в тексте диссертации в разных главах.

3. Примечания к отдельным рисункам и таблицам приведены не в полном объеме. Более детальная расшифровка обозначений позволила бы легче ориентироваться в данных и интерпретировать показанные результаты, как например, на стр. 39, рис. 2 – отсутствует легенда к рисунку и не вполне ясны обозначения цветом, а также нет масштабной

линейки. Для отдельных таблиц также не хватает примечаний и/или расшифровки отдельных использованных обозначений (стр. 71, табл.3.2; стр. 80, таб. 3.4.2; стр. 92, таб.3.4.5; 3.4.6; 3.4.7; стр. 107, таб. 3.6.1; стр. 117, таб. 3.7.1). На рисунках 3.4.1, 3.4.8, 3.4.9 и 3.4.10 – не указаны значения бутстреп-поддержки для UPGMA-дендрограмм.

4. В тексте присутствуют некоторые опечатки, как, например, на стр. 4, строка 3; стр. 15, строка 19; стр. 73, строка 3 и другие.

При этом выявленные отдельные замечания носят редакционный характер не влияют на общую высокую оценку работы.

Заключение

Нужно отметить, что автором проделан большой объем исследовательской и аналитической работы, выборки и их репрезентативность в отношении изучаемого региона достаточны для достижения заявленной цели. Диссертационная работа является законченным научным исследованием, в котором решена конкретная научная задача, а именно проанализирована генетическая структура кедрового стланика в восточной части ареала. Диссертационная работа Белоконя Юрия Сергеевича «Генетическая структура популяций кедрового стланика, *Pinus pumila* (Pall.) Regel, в восточной части ареала», представленная к защите на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.7 – Генетика, соответствует этой специальности (п. 20 Популяционная генетика и генетическая структура популяций Паспорта научной специальности 1.5.7 – Генетика (биологические науки)). В работе представлены новые результаты, имеющие значимость для понимания процессов формирования адаптивной генетической структуры популяций важного вида-эдификатора в северо-восточном секторе Палеарктики и для сохранения биоразнообразия в условиях современных климатических и антропогенных вызовов.

Таким образом, по актуальности проблемы, методическому уровню, объему представленного материала и научной новизне полученных результатов диссертационная работа Юрия Сергеевича Белоконя соответствует требованиям п.п. 9-14 положения «О порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24.09.2013 (с действующими изменениями), предъявляемым к диссертациям, представленным на соискание степени кандидата биологических наук, а ее автор Юрий

Сергеевич Белоконь заслуживает присуждения искомой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.7 – Генетика (биологические науки).

Отзыв подготовлен заведующим кафедрой ботаники и генетики растений Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский государственный национальный исследовательский университет», доктором биологических наук, профессором Боронниковой Светланой Витальевной; рассмотрен одобрен на заседании кафедры ботаники и генетики растений Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский государственный национальный исследовательский университет (при наличии кворума, присутствовали 15 из 15 преподавателей, «за» проголосовали 15 человек; протокол №5 от 19 февраля 2025 года).

Боронникова Светлана Витальевна
доктор биологических наук (специальность 1.5.7 – Генетика),
профессор, заведующий кафедрой ботаники и генетики растений
Федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего
образования «Пермский государственный
национальный исследовательский университет»

19 февраля 2025 года



Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования «Пермский государственный
национальный исследовательский университет»

614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15

Телефон: 8(342) 239-64-35

E-mail: info@psu.ru

Сайт: <http://www.psu.ru/>



С.В. Боронникова
Секретарь кафедры
С.В. Антропов