

М.А. Галкина¹, Н.В. Васильева¹, В.Н. Зеленкова², Н.М. Решетникова¹,
А.В. Стогова¹, М.А. Зуева¹, А.К. Мамонтов¹, А.А. Прохоров¹

LUPINUS POLYPHYLLUS LINDL. В ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ: ПОЛИМОРФИЗМ ПОПУЛЯЦИЙ И ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЯ АРЕАЛА

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук
²Научно-образовательный центр «Ботанический сад НИУ «БелГУ»

Изучены популяции инвазионного вида *Lupinus polyphyllus* Lindl. в разных частях вторичного ареала. Молекулярно-генетический анализ 64 образцов показал, что во вторичном ареале у люпина наблюдается внутривидовая и межвидовая изменчивость, однако ее нельзя назвать очень высокой. На основании нуклеотидных последовательностей высоковариабельного межгенного некодирующего спейсера хлоропластной ДНК *rpl32-trnL* построено филогенетическое дерево методом максимального сходства (ML), в котором выделились в отдельную кладу (наиболее близкую внешней группе *L. albus* L.) два образца из Калужской области; оставшиеся особи разделились на две субклады: в одну из них вошли большинство образцов из Калужской и Ленинградской областей, в другую – преимущественно образцы из Московской области. Наиболее высокое проективное покрытие *L. polyphyllus* наблюдается в фитоценозах центральной части средней полосы в условиях мягкого климата. Полученные данные свидетельствуют о наличии внутри популяций *L. polyphyllus* микроэволюционных процессов и позволяют предположить, что с учетом климатических изменений ареал вида может расширяться.

Ключевые слова: инвазионные виды, *Lupinus polyphyllus*, вторичный ареал, филогения, полиморфизм, генетика популяций, *rpl32-trnL*

Цитирование: Галкина М.А., Васильева Н.В., Зеленкова В.Н., Решетникова Н.М., Стогова А.В., Зуева М.А., Мамонтов А.К., Прохоров А.А. *Lupinus polyphyllus* Lindl. в европейской части России: полиморфизм популяций и прогноз изменения ареала // Промышленная ботаника. 2024. Вып. 24, № 1. С. 107–111. DOI: 10.5281/zenodo.10864157

Введение

Lupinus polyphyllus Lindl. – травянистый двулетник или короткоживущий многолетник, цветки собраны в терминальное прямостоячее соцветие, чаще синих оттенков, реже розовые или белые. Естественный ареал *L. polyphyllus* находится на западе Северной Америки, вид растет по берегам рек, на лугах, а также на обочинах дорог и других нарушенных местообитаниях [6, 9]. *Lupinus polyphyllus* широко культивировался как декоративное и сидератное растение и в настоящее время широко расселился на севере Ев-

ропы, местами проявляя себя как инвазионный вид, трансформирующий аборигенные сообщества [1]. На настоящий момент *L. polyphyllus* широко распространен в России и включен в список самых опасных инвазионных видов (Топ-100) [3]. В средней полосе России *L. polyphyllus* активно внедряется в естественные фитоценозы: как в луговые сообщества, так и в леса с различной сомкнутостью крон [4], а также активно заселяет окраины полей и залежи, особенно в северо-западной части страны [2, 5]. Граница оптимума

этого вида, по всей видимости, проходит в нечерноземье, а в черноземной полосе он не проявляет инвазионной активности, в то время как на северо-западе России образует обширные монодоминантные заросли. Возможно, на это повлияло широкое культивирование *L. polyphyllus* на северо-западе как сидерата, тогда как южнее вид расселялся из декоративной культуры.

Цель и задачи исследований

Целью работы было выявление молекулярно-генетических особенностей, возникших в ходе микроэволюции вида, а также оценка инвазионной активности *L. polyphyllus* на разных участках вторичного ареала, позволяющая сделать прогноз о его изменении в ближайшем будущем.

Объекты и методики исследований

Гербарный материал был собран летом 2022 и 2023 гг. Изучено несколько популяций люпина в разных частях Европейской России: в Московской, Калужской и Ленинградской областях (таблица). ДНК выделена из высушенных в силикагеле листьев *L. polyphyllus* всех изученных популяций (56 образцов), а также из листьев гербарных экземпляров (8 образцов) из гербариев Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН (МНА) и Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН (LE) (таблица). Выделение ДНК выполняли с помощью наборов «Diamond DNA» («Алтайбиотех») и «ДНК-Экстран» («Синтол»). Полимеразную цепную реакцию (ПЦР) проводили в амплификаторе Biorad T-100 (США). Для

Таблица. Образцы *Lupinus polyphyllus* Lindl., использованные для молекулярно-генетического анализа

№ образца	Окраска цветков	№ образца в базе данных Генбанк		Местоположение популяции
		ITS 1–2	rpl32–trnL	
LA1–LA7	белая, фиолетовая, розовая, синяя	OR436611– OR436616	OR449828– OR449834	Московская обл., у платформы Аникеевка
LCh1–LCh4	синяя, фиолетовая, розовая	OR436617– OR436620	OR449839– OR449842	Московская обл., агробиостанция «Чашниково»
LD1–LD5	белая, розовая, фиолетовая, синяя	OR436621– OR436624	OR449843– OR449847	Московская обл., Одинцовский район, окр. д. Каринское
LKu1–LKu7	розовая, белая, сиреневая, фиолетовая, бело-фиолетовая, бело-синяя	OR436625– OR436630	OR449848– OR449854	Московская обл., окр. г. Кубинка
LBmo1– LBmo4	бело-синяя, сине-фиолетовая, розовая, белая	OR436631– OR436632	OR449835– OR449838	Московская обл., кольцевая железная дорога в окр. г. Кубинка
LL1–LL9	розовая, синяя, белая	OR436633– OR436639, OR602564– OR602565	OR449855– OR449863	Ленинградская обл., пос. им. Морозова
LM1–LM5	розовая, голубая, фиолетово- голубая, фиолетово-розовая, белая	OR436640– OR436643	OR449864– OR449868	Калужская обл., окр. г. Малоярославец, на надпойменных террасах р. Лужа
LP1	точно не известно	–	OP007323	Санкт-Петербург (из гербария LE)
LP2	точно не известно	–	OP007324	Ленинградская обл. (LE)
LT1–LT2	синий	ON968485– ON968486	OP007326– OP007327	г. Тула (МНА)
LK1	точно не известно	ON968483	OP007320	Калужская обл., д. Городец (МНА)
LK2a, LK2b	бело-красный, синий	ON968484	OP007321– OP007322	Калужская обл., д. Ольхово (МНА)
LS1	точно не известно	–	OP007325	Смоленская обл., Демидовский р-н (МНА)
LV1a–LV1e	фиолетовая	ON968487– ON968490	OP007328– OP007332	Ленинградская обл., природный парк Вепсский лес, д. Лукинская,
LV2a–LV2e	фиолетовая	ON968491– ON968494	OP007333– OP007337	Ленинградская обл., природный парк Вепсский лес, пос. Курба
LV3	точно не известно	ON968495	OP007338	Ленинградская обл., природный парк Вепсский лес, д. Феньково
LV4a–LV4d	розово-фиолетовая	ON968496– ON968498	OP007339– OP007342	Ленинградская обл., природный парк Вепсский лес, с. Винницы

ядерного рибосомного внутреннего транскрибируемого спейсера 1–2 (ITS1–2) использовали праймеры nnc18s10 (прямой) и c26A (обратный) при температуре отжига 58 °С. Для хлоропластного высоковариабельного некодирующего межгенного спейсера rpl32–trnL применяли праймеры rpl32F (прямой) и trnL UAG (обратный) при температуре отжига 57 °С. Очистку ПЦР-продукта для секвенирования выполняли в смеси ацетата аммония с этанолом. Определение нуклеотидных последовательностей ДНК проводили на автоматическом секвенаторе компании Синтол. Полученные данные загружены в базу данных ГенБанк (NCBI). Статистическую обработку полученных данных осуществляли с помощью программ BioEdit и Mega и TCS [8, 10].

Результаты исследований и их обсуждение

Анализ ядерного участка ITS1–2 показал крайне низкий полиморфизм *L. polyphyllus*. Филогенетическое дерево, построенное методом максимального сходства (Maximum Likelihood, ML) по хлоропластному межгенному спейсеру rpl32–trnL, представлено на рисунке. В качестве внешней группы был взят Генбанка образец *L. albus* L. (NC026681.1). Образцы LM3 и LM4 из долины р. Лужа в Калужской области, обладающие максимальным числом нуклеотидных замен, выделились в отдельную кладу. Стоит отметить, что образцы LM3 и LM4 наиболее эволюционно близки к внешней группе (*L. albus*), а также отличались от остальных по окраске венчика (таблица, рисунок).

Оставшиеся образцы поделились на две крупные субклады. Примечательно, что в одну из них (с преобладанием подмосковных образцов) вошли все особи с двухцветной окраской венчика (как и у вышеописанных двух образцов, но другие цветовые вариации) и несколько растений с однотонным венчиком, а в другую – только особи с однотонной окраской венчика (большая часть особей из Ленинградской и Калужской областей, а также некоторые подмосковные). Следует отметить, что однозначно установить окраску соцветий для некоторых гербарных образцов нам не удалось; также во время сбора материала в Вепском лесу большинство особей были в стадии бутонизации. В связи с этим однозначно говорить о корреляции хлоропластного участка ДНК и окраски соцветий не

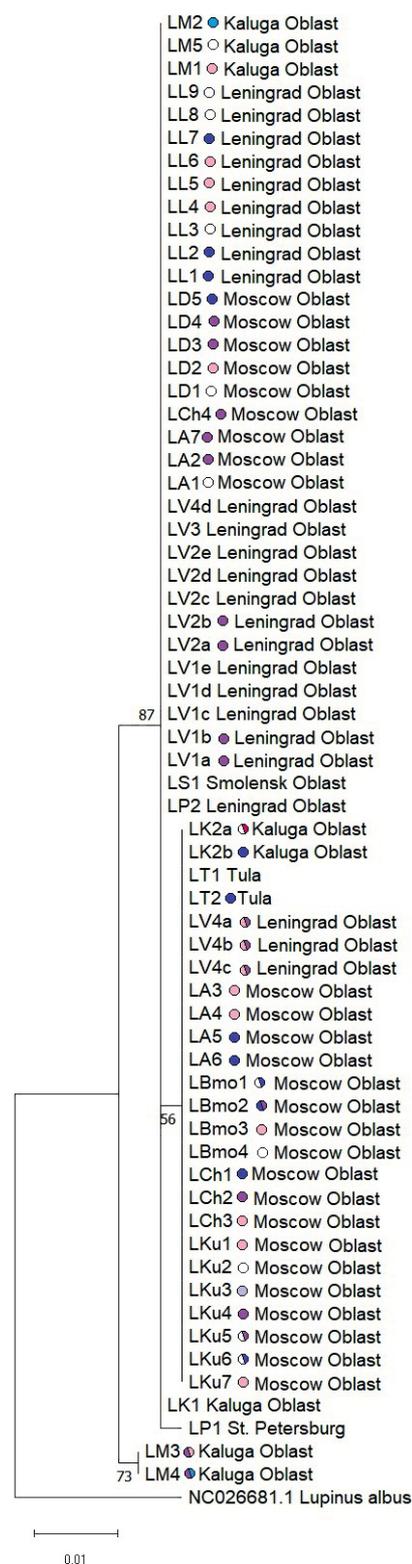


Рисунок. Филогенетическое дерево, построенное на основе анализа участка rpl32–trnL. Цвет кружков рядом с номером образца соответствует окраске венчика

Figure. Phylogenetic tree based on the analysis of the rpl32–trnL site. The colour of the circles next to the specimen number corresponds to the corolla coloration

вполне правомерно, и мы можем лишь предположить эту закономерность. Для популяции люпина в Аникеевке внутривидовые различия оказались существенно межвидовыми, однако точную причину этого назвать сложно. Отнесение в определенную кладу по строению участка *trp32-trnL* остальных подмосковных особей *L. polyphyllus* коррелировало с местом их произрастания.

Все встреченные нами наиболее крупные популяции люпина в Московской и Калужской областях произрастали на открытых местообитаниях в луговых сообществах. В Ленинградской области в популяции в поселке имени Морозова *L. polyphyllus* растет на лесной опушке, а на территории природного парка Вепский лес встречается как в луговых сообществах, так и в лесах с небольшой сомкнутостью крон, 10–15 %.

Проективное покрытие люпина в фитоценозах в Ленинградской и Калужской областях не превышает 25–30 %, тогда как в Московской области этот показатель намного выше и составляет 45–50 %. По всей видимости, в северных фитоценозах лимитирующим фактором являются низкие температуры, а в южных – недостаток влаги [7]. Наиболее высокое проективное покрытие *L. polyphyllus* наблюдается в центральной части средней полосы в условиях мягкого европейского климата. Это подтверждает наше предположение о том, что оптимум вида расположен в нечерноземье.

Выводы

Во всех изученных частях вторичного ареала *L. polyphyllus* (северной, центральной и южной) для участка *trp32-trnL* выявлен внутривидовый полиморфизм. В то же время межвидовая изменчивость была выражена не меньше и проявлялась на самом низком пространственном уровне (на расстоянии в первые сотни метров – километр). В процессе натурализации генетическое разнообразие популяций инвазивных видов постепенно увеличивается, и полученные нами данные о наличии внутривидовой изменчивости, с одной стороны, свидетельствуют о наличии и вероятном усилении инвазивной активности *L. polyphyllus*, с другой стороны, данные геоботанических исследований этому несколько противоречат, особенно если учитывать текущие климатические

изменения. По всей видимости, в северных широтах инвазивная активность люпина будет возрастать, и постепенно его вторичный ареал будет смещаться на север.

Работа выполнена в рамках госзадания ГБС РАН «122042600141-3».

1. Виноградова Ю.К., Майоров С.Р., Хорун Л.В. Черная книга флоры Средней России. М.: Геос, 2010. 512 с.
2. Маевский П.Ф. Флора средней полосы европейской части России. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2014. 635 с.
3. Самые опасные инвазивные виды России (ТОП-100) / под ред. Ю.Ю. Дгебуадзе, В.Г.Петросяна, Л.А. Хляп. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2018. 688 с.
4. Ткачева Е.В. Прогноз динамики расширения вторичного ареала *Lupinus polyphyllus* в Средней России // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Биология и экология. 2011. N 23(20). С. 108–113.
5. Цвелев Н.Н. Определитель сосудистых растений Северо-Западной России (Ленинградская, Псковская и Новгородская области). Санкт-Петербург: Изд-во Санкт-Петербургской государственной химико-фармацевтической академии, 2000. 781 с.
6. Aniszewski T., Kupari M.H., Leinonen A.J. Seed number, seed size and seed diversity in Washington Lupine (*Lupinus polyphyllus* Lindl.) // Annals of Botany. 2001. Vol. 87, Iss. 1. P. 77–82.
7. Eckstein R.L., Welk E., Klinger Y.P., Lennartsson T., Wissman J., Ludewig K., Hansen W., Ramula S. Biological flora of Central Europe – *Lupinus polyphyllus* Lindley // Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics. 2023. Vol. 58: 125715.
8. Hall T.A. BioEdit: a user friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows 95/98/NT // Nucleic Acids Symposium Series. 1999. Vol. 41. P. 95–98.
9. Scoggan H.J. Flora of Canada. 3. Dicotyledonae (Saussuraceae to Violaceae). Ottawa: National Museum of Natural Sciences, 1978. P. 1115.

10. Tamura K., Stecher G., Kumar S. MEGA 11: Molecular Evolutionary Genetics Analysis Version 11 // Molecular Biology and Evolution. 2021. Vol. 38, N 7. P. 3022–3027.

Поступила в редакцию: 26.01.2024

UDC 575.17+58.02/009

LUPINUS POLYPHYLLUS LINDL. IN THE EUROPEAN PART OF RUSSIA: POPULATION POLYMORPHISM AND PREDICTION OF SECONDARY RANGE CHANGE

**M.A. Galkina¹, N.V. Vasilyeva¹, V.N. Zelenkova², N.M. Reshetnikova¹,
A.V. Stogova¹, M.A. Zueva¹, A.K. Mamontov¹, A.A. Prokhorov¹**

¹Federal State Budgetary Institution for Sciences

Tsitsin Main Botanical Garden Russian Academy of Sciences

²«Belgorod State University Botanical Garden» Research and Education Centre

We studied populations of the invasive species *Lupinus polyphyllus* Lindl. in different parts of the secondary distribution range. Molecular genetic analysis of 64 specimens showed that intrapopulation and interpopulation variability was observed in the secondary distribution range of lupin, but it could not be called very high. Based on nucleotide sequences of the high-variable non-coding intergenic spacer of chloroplast DNA rpl32–trnL, a phylogenetic tree was constructed using the maximum likelihood (ML) method, in which two specimens from the Kaluga region were separated into a particular clade (closest to the outgroup of *L. albus* L.); the other individuals were divided into two subclades, one of which included most specimens from the Kaluga and Leningrad regions, the other – mainly specimens from the Moscow region. The highest projective coverage of *L. polyphyllus* is observed in phytocenoses of the central part of the middle zone under mild climate conditions. The data obtained indicate the presence of microevolutionary processes within *L. polyphyllus* populations and suggest that the range of the area may change taking into account climatic changes.

Key words: invasive species, *Lupinus polyphyllus*, secondary distribution range, phylogeny, polymorphism, population genetics, rpl32–trnL

Citation: Galkina M.A., Vasilyeva N.V., Zelenkova V.N., Reshetnikova N.M., Stogova A.V., Zueva M.A., Mamontov A.K., Prokhorov A.A. *Lupinus polyphyllus* Lindl. in the European part of Russia: population polymorphism and prediction of secondary range change // Industrial botany. 2024. Vol. 24, N 1. P. 107–111. DOI: 10.5281/zenodo.10864157
