

ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ОБОСОБЛЕННОСТЬ ПОПУЛЯЦИЙ РЕЛИКТОВЫХ ВИДОВ РАСТЕНИЙ БАЙКАЛЬСКОЙ СИБИРИ КАК РЕЗУЛЬТАТ ГЛОБАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

М.В. Протопопова¹, В.В. Павличенко¹, В.В. Чепинога^{2,3}

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Сибирский институт физиологии и биохимии растений Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия, marina.v.protopopova@gmail.com, vpavlichenko@gmail.com

²Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт географии им. В.Б. Сочавы Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия

³Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный университет», Иркутск, Россия, Victor.Chepinoga@gmail.com

Аннотация. Проведено исследование роли климатических изменений в формировании современной филогеографической структуры реликтовых видов растений Южной Сибири с использованием молекулярно-генетических методов. Результаты показали наличие ограниченного переноса генов между популяциями в пределах хр. Хамар-Дабан, непродолжительной изоляции сибирских популяций *Waldsteinia ternata* и *Eranthis sibirica*, невысокой степени дивергенции *Anemone baicalensis* и *W. tenrata* с восточноазиатскими родственными видами.

Ключевые слова: глобальные изменения климата, рефугиум, хребет Хамар-Дабан, неморальные реликты, молекулярно-генетические маркеры

DOI: 10.31255/978-5-94797-319-8-983-985

Настоящая работа направлена на исследование роли глобальных климатических изменений в формировании современной филогеографической структуры некоторых реликтовых видов Южной Сибири с использованием молекулярно-генетических методов. На протяжении четвертичного периода растительность Северной Азии претерпевала значительные изменения. Одним из существенных преобразований явилось нарушение целостности некогда сплошной транспалеарктической зоны широколиственных лесов в результате серии похолоданий и усиления аридизации климата в плейстоцене. В настоящее время в пределах Евразии зона широколиственных лесов представлена двумя основным участками: европейским и восточноазиатским, а на территорию Восточной Сибири приходится ее протяженная дизъюнкция. Поддержание преемственности растительности на территории Южной Сибири оказалось возможным, в частности, за счет существования рефугиумов, комплекс мезо- и микроклиматических условий в которых, позволил растениям пережить неблагоприятные для них периоды. Наиболее богатым рефугиумом неморальной флоры Восточной Сибири является северный макросклон хребта Хамар-Дабан [Положий, Крапивкина, 1985]. Хребет Хамар-Дабан является основным местообитанием некоторых неморальных реликтов с дизъюнктивным ареалом, популяции которых встречаются также в других рефугиумах Южной Сибири (Восточный Саян, Западный Саян, Алтай), а некоторые и на Дальнем Востоке. Реконструкция филогенетических взаимоотношений и филогеографических паттернов удаленных популяций таких видов может помочь в понимании процессов формирования растительного покрова в течение глобальных климатических изменений на территории Северной Азии в целом.

В работе проводили изучение нескольких неморальных реликтовых видов растений: *Eranthis sibirica* DC., *Waldsteinia ternata* (Steph.) Fritsch и *Anemone baicalensis* Turcz. Все они являются эндемиками Южной Сибири, имеют сильно фрагментированный ареал и близкородственные таксоны в Восточной Азии. Сбор материала для всех трех видов проводили на хр. Хамар-Дабан (Южное Прибайкалье). Помимо этого, сбор *E. sibirica* и *W. ternata* осуществляли из их изолированных местонахождений в предгорьях Восточного Саяна (р. Белая Зима). В работе также использовали образцы *W. ternata* из популяций, произрастающих в предгорьях Западного Саяна и Надеждинском р-не Приморского края (вблизи пос. Сиреневка и Раздольное), рассматриваемых в настоящее время рядом авторов в качестве самостоятельных видов: *W. tanzybeica* N.V. Stepanov [Степанов, 1994] на Западном Саяни и *W. maximowicziana* (Terpner) Probat. [Пробатова, 2015] в Приморье.

В работе был проведен сравнительный анализ нуклеотидных последовательностей молекулярно-генетических маркеров *ITS1-ITS2*, *trnV*, *rpl20-rps12*, *trnL-trnF* и *psbA-trnH*. ДНК выделяли из высушенных листьев с помощью СТАВ метода [Doyle & Doyle, 1987] с авторскими модификациями [Протопопова и др., 2015, 2016]. ПЦР проводили с использованием универсальных праймеров [Wang et al., 2009; Utelli, 2000]. Ампликоны электрофоретически отделяли от компонентов реакции в агарозном геле, очищали и лигировали в плазмидный вектор pTZ57R/T (Thermo Fisher Scientific) или pMiniT 2.1 (NEB) с последующей трансформацией клеток *E. coli*. Плазмиды и исходные ампликоны секвенировали по методу Сэнгера с использованием набора BigDye Terminator Cycle Sequencing kit v. 3.1 (Applied Biosystems, США) на генетическом анализаторе серии 3500 (Applied Biosystems, США). Выравнивание нуклеотидных последовательностей проводили с помощью алгоритма MUSCLE, филогенетический анализ – метода максимального правдоподобия с учетом оптимальных моделей нуклеотидных замен в MEGA v.7.0.16. и байесовского анализа на основе метода Монте-Карло для марковских цепей также с учетом оптимальных моделей нуклеотидных замен в MrBayes v. 3.2.5. Для филогенетического анализа в качестве референтных были использованы последовательности из GenBank для близкородственных к исследуемым видам *E. stellata* Maxim., *W. geoides* Willd., *W. fragarioides* (Michx.) Tratt. и *A. flaccida* Schmidt.

Результаты показали, что, несмотря на образование исследованными реликтовыми видами метапопуляций [Чепинога и др., 2015], объединяющих популяции соседних рек, на более протяженных участках ареала вдоль северного макросклона хр. Хамар-Дабан для большинства видов перенос генов является лимитированным. Степень выявленных отличий между сибирскими популяциями *W. ternata* свидетельствует в пользу их непродолжительной изоляции друг от друга, а также, вероятно, о «хамар-дабанском» источнике происхождения восточносаянского и западносаянского генотипов. Для *E. sibirica* в настоящий момент ситуация менее однозначна, и нами не исключается наличие двойного источника происхождения хамар-дабанских популяций. Полученные результаты указывают также на то, что генетическая дистанция между хамар-дабанскими популяциями *Anemone baicalensis* и *W. ternata* и их близкородственными восточноазиатскими видами гораздо меньше, чем это предполагалась ранее на основании данных морфологического анализа и их географического распределения. Для *W. ternata* полученные результаты также свидетельствуют в пользу дальневосточного происхождения сибирских популяций этого вида.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 17-74-10074) и грантов Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 16-34-60135 мол_а_дк, 16-05-00783). Авторы благодарят ЦКП «Биоаналитика»

СИФИБР СО РАН за предоставленный доступ к оборудованию и ЦКП «Биоресурсный центр» СИФИБР СО РАН за предоставленный доступ к работе с гербарием, Н.С. Пробатову и Е.А. Пименову за помощь в сборе образцов из Приморского края, Н.В. Степанова за предоставление гербарных образцов *W. tanzyubeica*.

Литература

Положий А.В., Крапивкина Э.Д. Реликты третичных широколиственных лесов во флоре Сибири. – Томск: Изд-во Том. гос. ун-та, 1985. – 158 с.

Пробатова Н.С., Валидизация комбинации *Waldsteinia maximowicziana* (Teppner) Prob. (Rosaceae) // Новости систематики высших растений. – 2015. – № 46. – С. 237–238.

Протопопова М.В., Павличенко В.В., Гнутиков А.А., Адельшин Р.В., Чепинога В.В. Использование генетических маркеров для оценки состояния реликтовых видов растений Байкальской Сибири // Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2015. – № 4. – С. 28–36.

Протопопова М.В., Павличенко В.В., Коновалов А.Д., Золотовская Е.Д., Байрамова Э.М., Чепинога В.В. Перспективы использования внутренних транскрибируемых спейсеров (ITS1 и ITS2) для идентификации редких видов растений на примере рода *Waldsteinia* (Rosaceae) // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Биология. Экология». – 2016. – Т. 17. – С. 5–11.

Степанов Н.В. Новый вид рода *Waldsteinia* (Rosaceae) из Западного Саяна // Ботанический журнал. – 1994. – Т. 79, № 9. – С. 109–114.

Чепинога В.В., Мишина А.В., Протопопова М.В., Павличенко В.В., Быстров С.О., Вилор М.А. Новые данные о распространении некоторых неморальных реликтовых растений в предгорьях хребта Хамар-Дабан (Южное Прибайкалье) // Ботанический журнал. – 2015. – Т. 100, № 5. – С. 478–489.

Doyle J. J., Doyle J. L. A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue // Phytochem. Bull. – 1987. – V. 19. – P. 11–15.

Utelli A., Roy B., Baltisberger M. Molecular and morphological analyses of European *Aconitum* species (Ranunculaceae) // Plant Systematics and Evolution. – 2000. – V. 224. – P. 195–212.

Wang L., Abbott R. J., Zheng W., Chen P., Wang Y., Liu J. History and evolution of alpine plants endemic to the Qinghai-Tibetan Plateau: *Aconitum gymmandrum* (Ranunculaceae) // Molecular Ecology. – 2009. – V. 18, I. 4. – P. 709–21.

GENETIC DIVERGENCE OF RELICT PLANT SPECIES POPULATIONS IN BAIKAL SIBERIA AS A RESULT OF GLOBAL CLIMATE CHANGE

M.V. Protopopova¹, V.V. Pavlichenko¹, V.V. Chepinoga^{2,3}

¹Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia, marina.v.protopopova@gmail.com, vpavlichenko@gmail.com

²V.B. Sochava Institute of Geography of Siberian Branch RAS, Irkutsk, Russia

³Irkutsk State University, Irkutsk, Russia, Victor.Chepinoga@gmail.com

Abstract. The impact of climate change on the current phylogeographic structure of South Siberian relict plant species using molecular genetic methods was studied. The results showed the limited gene flow between the populations of the model species within the Khamar-Daban Ridge, short-term isolation of Siberian populations of *Waldsteinia ternata* and *Eranthis sibirica*, a low level of genetic divergence of *Anemone baicalensis*, and *W. ternata* from their East Asian closely related species.

Keywords: global climate change, refugium, the Khamar-Daban Ridge, nemoral relicts, molecular markers