

Разнообразие и предварительная филогения группы ‘*Circinaria transbaicalica*’ (лихенизированные аскомицеты)

Diversity and preliminary phylogeny of ‘*Circinaria transbaicalica*’ group (lichenized Ascomycetes)

Пауков А. Г.¹, Давыдов Е. А.², Кузьмина И. А.¹, Чусовитин А. А.¹, Рен К.³, Сохраби М.⁴

Paukov A. G.¹, Davydov E. A.², Kuzmina I. A.¹, Chusovitin A. A.¹, Ren Q.³, Sohrabi M.⁴

¹ Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия. E-mail: alexander_paukov@mail.ru

¹ Ural federal university, Ekaterinburg, Russia

² Алтайский государственный университет, г. Барнаул, Россия. E-mail: eadavydov@yandex.ru

² Altai state university, Barnaul, Russia

³ Институт микробиологии Китайской академии наук, г. Пекин, Китай. E-mail: rendaqiang@hotmail.com

³ Institute of microbiology Chinese Academy of sciences, Beijing, China

⁴ Иранская исследовательская организация науки и технологий, г. Тегеран, Иран. E-mail: sohrabi.mycolich@gmail.com

⁴ Iranian Research Organization for Science and Technology, Tehran, Iran

Реферат. *Circinaria transbaicalica* – эпилитный карликово-кустистый лишайник, широко распространенный в горных районах от Забайкалья и Китая до Урала. Изучение последовательностей ITS и малой субъединицы митохондриальной ДНК образцов вида показало, что вид *Circinaria transbaicalica* родственен ранее известному только из США однообразно накипному *C. arida* и описанному из Китая *C. maculata*, имеющему накипные радиальные талломы. В ITS филогенетическом дереве образцы, определяемые как *Circinaria transbaicalica*, разделяются на две удаленные друг от друга ветви, возможно, представляющие собой криптовиды, без четких морфоанатомических отличий между собой, но имеющих различное распространение. Группа ‘*Circinaria transbaicalica*’ представляет собой пример морфологической эволюции накипных лишайников от однообразно накипной к карликово-кустистой жизненной форме.

Ключевые слова. Карликово-кустистые лишайники, морфология, *Aspicilia transbaicalica*, ITS, Megasporaceae.

Summary. *Circinaria transbaicalica* – is a saxicolous dwarf-fruticose lichen species, with a range spreading from the Trans-Baikal territory and China to the Ural Mountains. The study of ITS and mtSSU sequences showed that it is relative to the crustose *Circinaria arida*, previously known from the USA only, and to the radiate *C. maculata* described from China. Specimens determined as *Circinaria transbaicalica* were split into two separate branches likely representing cryptic species that have no distinct morphological and anatomical differences but having a different distribution. The ‘*Circinaria transbaicalica*’ group represents an example of an evolution of life forms of crustose lichens from the uniform cracked-areolate to the dwarf-fruticose morphology.

Key words. *Aspicilia transbaicalica*, dwarf-fruticose lichens, ITS, Megasporaceae, morphology.

Введение. *Circinaria transbaicalica* (Охнер) Q. Ren – карликово-кустистый представитель рода, хорошо диагностируемый в полевых условиях благодаря простым цилиндрическим и позднее разветвленным вертикальным веточкам, собранным в подушковидные талломы до 2 см высотой. *Circinaria transbaicalica* является обычным видом в наскальных сообществах на кислых и основных горных породах, встречаясь на небольших высотах, обычно не превышающих 1000 м над уровнем моря. Вид распространён в Казахстане, Китае, Монголии. В России его ареал протягивается от Забайкалья до Урала. Впервые он был собран Г. А. Стуковым в 1895 г. в окр. г. Нерчинска Забайкальского края и описан как самостоятельный вид А. Н. Окснером (Окснер, 1933). Современное положение как представитель рода *Circinaria* он получил в 2018 г. (Ren, Zhang, 2018). Несмотря на вполне очевидную принадлежность вида к роду, родство *Circinaria transbaicalica* в его пределах остается невыясненным.

Материалы и методы. Материалом для исследования послужили образцы *Circinaria transbaicalica*, собранные авторами в различных частях его ареала, а также широкий спектр других представителей рода. Для выявления филогенетического родства использовались последовательности ITS1-5.8SpДНК-ITS2 и митохондриальной ДНК (mtSSU). Филогенетические деревья построены с использованием Байесового подхода методом Монте-Карло для Марковских цепей (BMCMC) (Larget, Shimon, 1999) и методом максимального правдоподобия (Maximum Likelihood, ML) с помощью алгоритма RAxML 8.0.26 (Stamatakis, 2014). Изучены особенности морфологии видов, размеры спор и пикноконидий, методами тонкослойной хроматографии изучено содержание вторичных метаболитов в талломах.

Результаты. В ходе работ были получены сиквенсы образцов *Circinaria transbaicalica*, собранных в Забайкалье, Китае, Среднем и Южном Урале. Поиск соответствий в BLAST (Basic Local Alignment Search Tool. URL: <https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>) позволил установить только один вид, близкий по последовательностям к искомому – описанный из северной Америки *Circinaria arida* Owe-Larss., A. Nordin et Tibell. Он представляет собой однообразно накипной ареолированный до чешуйчато-ареолированного лишайник, образующий тонкие талломы на каменистом субстрате. Этот таксон был обнаружен при изучении лишенофлоры Кош-Агачского района Республики Алтай на территории Чуйской степи и является новым для России видом.

Несмотря на высокое сходство последовательностей ДНК с изучаемым видом, *Circinaria arida* является морфологически существенно отличающимся от него таксоном, что определило необходимость поиска дополнительных видов, относящихся к группе. Родство второго вида, *Circinaria maculata* (H. Magn.) Q. Ren, было обнаружено при изучении последовательностей ITS образцов, собранных в его типовом локалитете на территории провинции Ганьсу в Китае. *Circinaria maculata* – накипной радиальный лишайник, отличающийся короткими лопастями и покрытыми беловатым налетом апотециями. Позднее он был обнаружен на территории Кош-Агачского района Республики Алтай. Несмотря на то, что вид приводился ранее для России (Урбанавичюс, 2010), находки в Чуйской степи являются первыми образцами, собранными на территории России, подтвержденными с использованием молекулярных данных. Молекулярные исследования показали также, что группа радиальных представителей рода включает не один вид. Анализ образцов из Южного Урала и Алтая выявил, что кроме *Circinaria maculata* существует еще как минимум три вида рода с радиальными талломами, которые при детальном изучении морфологии отличаются от *C. maculata* степенью развития лопастей и их формой. Филогенетически все они относятся к группе *Circinaria transbaicalica*.

Анализ последовательностей, идентифицированных как *Circinaria transbaicalica*, также демонстрирует их неоднородность – в филогенетическом дереве выделяются две хорошо поддержанные ветви. Одна ветвь включает образцы, собранные в Китае, Забайкалье и на Урале, вторая – преимущественно уральские образцы. Поскольку тип вида был описан из Забайкалья, мы предполагаем, что именно сибирские образцы являются *Circinaria transbaicalica sensu stricto*, в то время как ветвь, встречающаяся на Урале, представляет собой криптовид, морфологически слабо отличимый от *C. transbaicalica*. Согласно филогенетическим построениям, оба вида '*Circinaria transbaicalica*' имеют сестринские радиально-накипные таксоны. ITS филогения свидетельствует о том, что это – разные виды, тогда как совмещенные деревья с использованием ITS и mtSSU демонстрируют ближайшее родство обеих ветвей *Circinaria transbaicalica* s. l. к *Circinaria maculata*, что, учитывая ареалы таксонов, представляется нам наиболее вероятным.

В семействе Megasporaceae род *Circinaria* характеризуется наибольшим богатством жизненных форм. Часть филогенетических ветвей включает только накипные представители, часть претерпевает активную морфологическую эволюцию, что приводит к формированию конвергентного сходства морфологических черт, что наиболее ярко наблюдается у кочующих видов. Группа '*Circinaria transbaicalica*' демонстрирует пример эволюции, приводящей к формированию прикрепленных карликово-кустистых жизненных форм через стадии однообразно-накипных, накипных радиальных и мелкобугорчатых талломов, что является уникальным признаком для рода.

Благодарности. Исследование проведено при поддержке РФФ (проект 23-44-00070).

ЛИТЕРАТУРА

- Окснер А. Н. Нові види обрiсникiв з Азiї // Журнал биоботаничного циклу ВУАН, 1933. – № 7–8. – С. 167–172.
Урбанавичюс Г. П. Список лишенофлоры России. – СПб.: Наука, 2010. – 194 с.

Basic Local Alignment Search Tool. URL: <https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi> (accessed 24.02.2023).

Larget B., Shimon D. Markov chain Monte Carlo algorithms for the Bayesian analysis of phylogenetic trees // *Molecular Biology and Evolution*, 1999. – Vol. 16. – P. 750–759. DOI: 10.1093/oxfordjournals.molbev.a026160

Ren Q., Zhang L.-H. Taxonomic studies on the genus *Circinaria* in northern China // *Mycosystema*, 2018. – Vol. 37. – P. 865–880. DOI: 10.13346/j.mycosystema.180044

Stamatakis A. RAxML version 8: a tool for phylogenetic analysis and post-analysis of large phylogenies // *Bioinformatics*, 2014. – Vol. 30. – P. 1312–1313. DOI: 10.1093/bioinformatics/btu033