

УДК 582.29+57.014+57.044(470.46)

DOI: 10.14258/pbssm.2021068

## Накопление элементов в талломах представителей рода *Circinaria* Link (лихенизированные аскомицеты) в аридных местообитаниях

### Accumulation of elements in thalli of representatives of genus *Circinaria* Link (lichenized ascomycetes) in arid habitats

Пауков А. Г., Круглова Е. П., Пряхина В. И., Синенко О. С., Тептина А. Ю.

Paukov A. G., Kruglova E. P., Pryakhina V. I., Sinenko O. S., Teptina A. Yu.

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия. E-mail: alexander\_paukov@mail.ru  
Ural federal university, Ekaterinburg, Russia

**Реферат.** Изучены профили элементов в талломах представителя рода *Circinaria* на территории Богдинско-Баскунчакского заповедника. Наибольшее содержание железа, кремния и алюминия обнаружено в верхней коре. В более глубоких слоях концентрация элементов падает, но алюминий почти не изменяет содержание в зависимости от глубины расположения в талломе. Высокое содержание железа и алюминия, вероятно, действует как солнечный фильтр, а также экран для теплового излучения.

**Ключевые слова.** Адаптация, накопление металлов, *Aspicilia desertorum*, Megasporaceae.

**Summary.** Elemental profiles were studied in thalli of a representative of *Circinaria* from Bogdinsko-Baskunchakskiy reserve (Astrakhan region, Russia). The highest concentration of iron, silica and aluminium were found in the cortex of the thalli. In the deeper layers the concentration of the elements decreases but the concentration of aluminium does not depend on the depth. Iron and aluminium in thalli may act as filters for UV-B as well as heat insulators.

**Key words.** Adaptation, *Aspicilia desertorum*, Megasporaceae, metal accumulation.

Представители рода *Circinaria* Link в аридных регионах накапливают большое количество железа, в результате чего талломы приобретают рыжую окраску. Многие из рыжеокрашенных образцов были описаны как самостоятельные таксоны (Anzi, 1860; Szatala, 1957). К. С. Мережковский относил накапливающие железо представители современного рода *Circinaria* к *Aspicilia desertorum* f. *ferruginea* Mereschk. и считал, что их цвет обусловлен красным цветом почвы (Мережковский, 1911). Нами исследованы рыжеокрашенные накипные образцы из Астраханской области, Богдинско-Баскунчакского заповедника (гора Б. Богдо) и было выявлено, что они относятся к различнымкладам в филогенетическом дереве, построенном с использованием ITS последовательностей, и принадлежат шести, в том числе неописанным, видам (Круглова и др., 2020). Талломы обычного для рода серовато-оливкового цвета, встречающиеся в районе исследования, относятся к тем же шести видам. Повышенное содержание железа в талломах свойственно также кустистым и кочующим представителям рода, встречающимся на той же территории. Целью работы являлось выявление локализации металлов в лишайниках и возможной функциональной роли их накопления талломами.

Материалом послужил накипный вид *Circinaria aspera* (Mereschk.) Sohrabi et Şenkardeşler, наиболее распространенный в районе исследования и представленный как оливково- так и рыжеокрашенными талломами. Морфологические особенности строения талломов и апотециев, анатомия талломов, размер спор и конидий изучались под бинокулярной лупой и световым микроскопом. Видовая принадлежность образцов дополнительно проверена использованием последовательностей ITS. Распределение элементов по слоям талломов изучалось с помощью сканирующего электронного микроскопа Carl Zeiss EVO LS 10 (SEM) с детектором Oxford Instruments X-MaxN для энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (EDS) в центре коллективного пользования «Современные нанотехнологии» УрФУ. Ассимиляция CO<sub>2</sub> изучалась с помощью портативной системы LI-6400 (Licor).

Верхний коровый слой изучаемого вида имеет параплектенхимное строение, 50–65(100) мкм с «клетками» 4–9 мкм в диаметре и толстыми клеточными стенками. Водорослевый слой 150–200 мкм толщиной, пересеченный гифальными тяжами 20–25 мкм, прозоплектенхимного строения. Было обнаружено, что в талломах накапливаются в основном 4 элемента: железо, алюминий, кремний и кальций. Наибольшее количество металлов наблюдается в пределах наружных 20–30 мкм верхнего корового слоя, что предполагает их включение в таллом в основном за счет сухого осаждения частиц пыли. Для рыжеокрашенных образцов содержание железа во внешней части корового слоя составляет около 3 %; в более глубоких слоях его содержание падает, но сохраняется на уровне 0,3–0,5 %. Количество алюминия и кремния в коровом слое рыжеокрашенных образцов также достигает 3 %, при этом в более глубоких слоях количество кремния падает до 0,2–0,5 %, алюминий накапливается в концентрации 1–2 % от сухой массы по всему профилю и в результате превышает содержание железа. В серых образцах содержание Fe в талломе составляет в среднем около 1 % и незначительно повышается в коровом слое. Алюминий при этом накапливается в более высоких количествах и достигает значений 7,5 % в наружных слоях верхней коры. При этом, на протяжении всей глубины таллома, у серых представителей содержание Al составляет от 1,5 до 2 %. Несмотря на то, что лишайники поглощают алюминий, как и железо, за счет включения частиц сухого осаждения, талломы, вероятно, имеют более эффективную систему транспорта этого элемента по клеточным стенкам. Распределение кремния по слоям таллома у рыжеокрашенных и серых образцов имеет схожие тенденции, отличаясь статистически недостоверно. Кальций в коровом слое у изученного вида представлен незначительно, однако его концентрация высока в водорослевом слое, где он может достигать 7 % от сухой массы. В связи с тем, что кальций имеет невысокую концентрацию в верхней коре, талломы, в отличие от других рассмотренных элементов, вероятно, получают его из субстрата.

Рыжеокрашенные талломы характеризуются более высоким уровнем поглощения  $\text{CO}_2$  при низком освещении, при этом при уровне фотосинтетически активной радиации в 1500 мкмоль/м<sup>2</sup>с сероокрашенные талломы начинают поглощать углекислый газ интенсивнее, однако не при всех уровнях освещения различия оказались достоверными. Мы предполагаем, что накопление железа талломами позволяет уменьшить уровень инсоляции водорослевого слоя, а накопление алюминия может быть связано со свойством оксида этого элемента обеспечивать эффективное экранирование теплового излучения, что в аридных территориях позволяет защитить водорослевый слой от перегрева и увеличить время, пригодное для фотосинтеза.

**Благодарности.** Исследование проведено при финансовой поддержке РФФИ (проект 18-04-00414). Благодарим коллектив Богдинско-Баскунчакского заповедника и лично Н. Г. Пирогова за помощь в организации и проведении полевых работ.

#### ЛИТЕРАТУРА

**Круглова Е. П., Пауков А. Г., Тентина А. Ю., Ширяева А. С.** Рыжеокрашенные представители рода *Circinaria* Link. (лихенизированные аскомицеты) в аридных сообществах Богдинско-Баскунчакского заповедника // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии, 2020. – Т. 19, № 2. – С. 249–251. DOI: 10.14258/pbssm.2021113

**Мережковский К. С.** Лихенологическая поездка в Киргизские степи (гора Богдо) // Труды Общества естествоиспытателей при Императорском Казанском университете, 1911. – Т. XLIII, вып. 5. – С. 3–41.

**Anzi M.** Catalogus lichenum quos in provincia Sondriensi collegit et ordinavit et in ordinem systematicum digessit. – Novi-Comi, Tip. C. Franchi, 1860. – 126 p.

**Szatala O.** Prodromus einer Flechtenflora des Irans // Ann. Hist. Nat. Mus. Natl. Hungarici, ser. nov., 1957. – Vol. 8. – P. 101–154.