

УДК 581.8(571.150)

## Фитолиты высших растений юга Западной Сибири

### Higher plant's phytoliths on south of Western Siberia

Сперанская Н. Ю., Соломонова М. Ю., Гейнрих Ю. В., Силантьева М. М.

Speranskaya N. Yu., Solomonova M. Yu., Geynrikh Yu. V., Silanteva M. M.

Алтайский государственный университет, г. Барнаул E-mail: speranskaj@mail.ru, heinrichyuli@mail.ru

Altai state university, Barnaul, Russia

**Реферат.** В статье представлены данные о фитолитном составе высших растений юга Западной Сибири. Исследованы представители следующих таксонов: Briopsida, Polypodiopsida, Pinopsida, Magnoliopsida и Liliopsida. Были выявлены специфические морфотипы фитолитов для различных групп растений.

**Summary.** The article describe data about higher plant's phytoliths composition on south of Western Siberia (North Altai Mountains). We studied representatives of the following taxons: Briopsida, Polypodiopsida, Pinopsida, Magnoliopsida and Liliopsida. Specific morphotypes of phytoliths were identified for different groups of plants.

#### Введение

В настоящее время фитолитный анализ – один из приоритетных методов в изучении и реконструкции фитоценозов. Определение фитолитного состава отдельных видов растений и выделение специфичных морфотипов, необходимо для расшифровки почвенных фитолитных спектров. Накопление фитолитов в растениях значительно различается в разных таксономических группах (Hodson et al., 2005; Katz, 2014). В настоящее время в мире неизвестно о продуцировании фитолитов примерно у 16 порядков и 220–230 семейств цветковых растений (Katz, 2015).

В настоящее время на территории юга Западной Сибири ведутся исследования по изучению фитолитного состава растений различных семейств. Данная работа посвящена описанию диагностических форм фитолитов высших растений.

#### Материалы и методы

Исследуемые растения были собраны с 5 хребтов Северного Алтая: Башчелакского, Семинского, Чергинского, Ануйского и Иолго в ходе экспедиционных работ летом 2017 г. Фитолиты были получены методом сухого озоления 55 видов высших растений. Среди растений было изучено 7 видов мхов из 6-ти семейств (Aulacomniaceae, Grimmiaceae, Hylocomiaceae, Mniaceae, Rhytidiaceae и Thuidiaceae), 3 вида папоротников из 2-х семейств (Dennstaedtiaceae, Woodsiaceae), 5 видов голосеменных растений из 2-х семейств (Cupressaceae, Pinaceae), 40 видов цветковых растений из 7-ми семейств двудольных (Ariaceae, Asteraceae, Fabaceae, Malvaceae, Caprifoliaceae, Paeoniaceae, Rosaceae) и из 3-х семейств однодольных (Cyperaceae, Poaceae, Juncaceae). Микроскопирование образцов было произведено с помощью микроскопа Olympus BX-51.

#### Результаты

**Мхи (Briopsida).** Фитолиты мхов изучены крайне слабо, однако могут выступать в качестве индикаторов лесных сообществ. Для *Aulacomnium palustre* (Hedw.) Schwägr. (сем. Aulacomniaceae) (рис. 1А) характерно наличие одного выраженного морфотипа фитолитов – пластинок неправильной формы. Присутствуют слепки из крупных волнистых ячеек прямоугольной формы, в которых встречаются мелкие воронковидные частицы с волнистым основанием. У *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt. (сем. Hylocomiaceae) (рис. 1В) обнаружено два морфотипа фитолитов: пластинки неправильной формы и длинные

ребристые ассиметричные частицы. Окремнение, выраженное лишь в аморфных слепах неправильной формы, характерно для вида *Plagiomnium ellipticum* (Brid.) T.J.Кор. (сем. Mniaceae).

**Папоротники (Polypodiopsida).** У всех трех видов изученных папоротников (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn, сем. Dennstaedtiaceae, *Athyrium filix-femina* (L.) Roth. и *Matteuccia struthiopteris* (L.) Tod.,

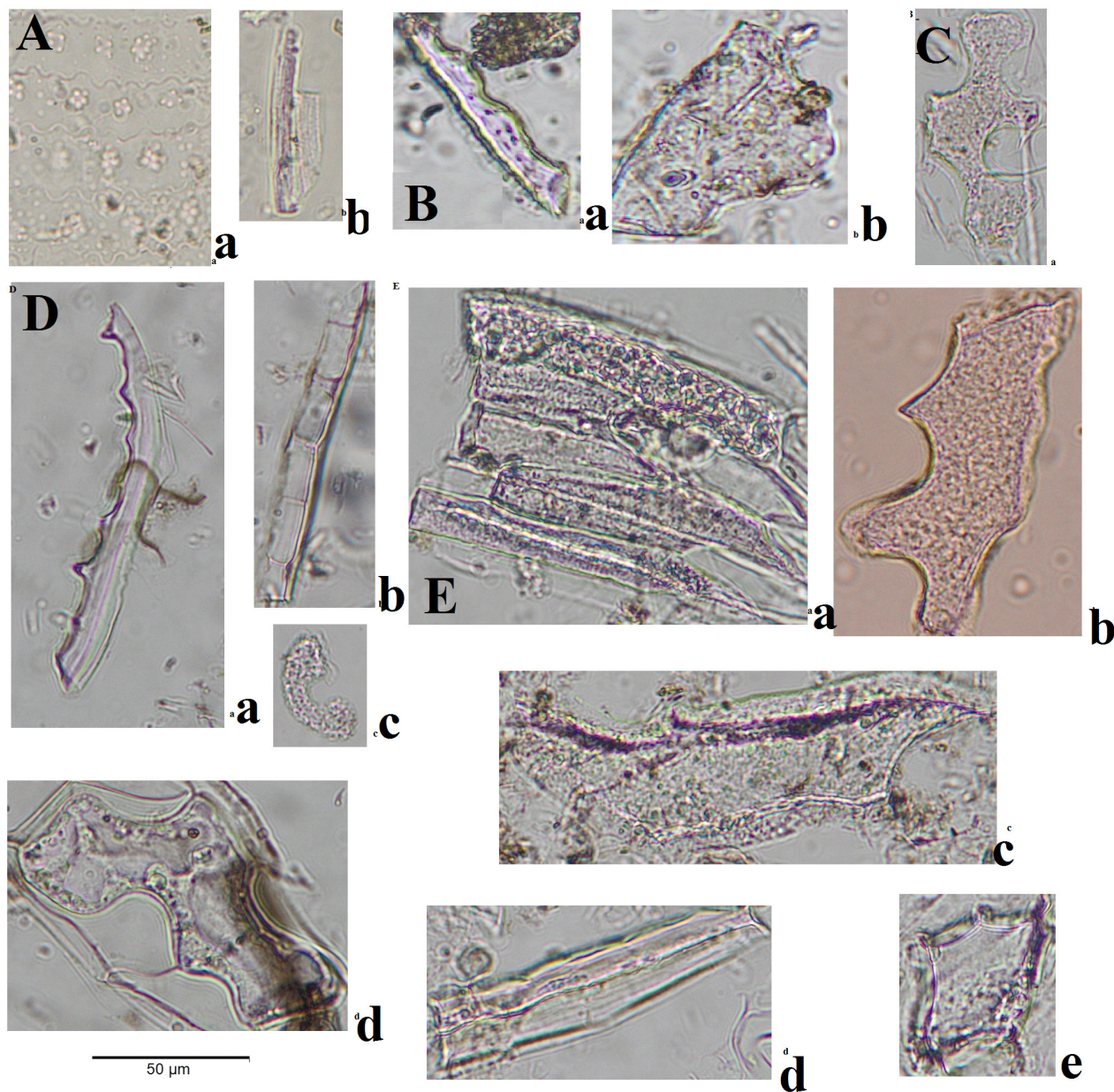


Рис. 1. Фитолиты и эпидермальные слепки высших споровых растений. А: *Aulacomnium palustre*: а – эпидермальный слепок и мелкие воронковидные частицы с волнистым основанием; б – длинные частицы; В: *Pleurozium schreberi*: а – длинная ребристая ассиметричная частица; б – пластинка неправильной формы; С: *Pteridium aquilinum* – зубчатая структура неправильной формы; D: *Athyrium filix-femina*: б – крупнозубчатые длинные частицы ассиметричные; с – С-образная пластинка, d – структура неправильной формы; E: *Matteuccia struthiopteris*: Vegetативный побег: а – слепок с длинными ребристыми частицами, ассиметричными, б - зубчатая структура неправильной формы; генеративный побег: с – пластинка неправильной формы, d – длинная ребристая частица ассиметричная, е – ребристая многоугольная структура.

сем. *Woodsiaceae*) хорошо выражены эпидермальные слепки, фитоциты встречаются редко. Исключением составляет вид *Athyrium filix-femina* (рис. 1D), из которого выделено наибольшее число форм фитоцитов и даже рассчитано их процентное содержание: трехгранные длинные частицы (29 %), С-образные пластинки (20 %), крупнозубчатые длинные частицы ассиметричные (11 %), пластинки неправильной формы (15 %), перфорированные длинные частицы ровные (10 %) и ассиметричные (1 %), длинные ребристые частицы ровные (4 %) и ассиметричные (3 %), длинные округлые ровные частицы (1 %), волнистые длинные частицы (4 %), пластинки с зубчатым краем (1 %) и крупные неправильные частицы лопастной формы (1 %). Также у этого вида хорошо выражены слепки из ячеек неправильной формы и окремнение проводящей системы. Для *Pteridium aquilinum* (рис. 1C) характерно окремнение проводящей системы и два морфотипа фитоцитов: пластинки неправильной формы и единичные крупные лопастные структуры неправильной формы. Последний морфотип можно соотнести с клетками эпидермальных тканей, так как слепки у этого вида состоят из лопастных ячеек неправильной формы и в редких случаях в них наблюдаются собственно фитоциты. Для *Matteuccia struthiopteris* (рис. 1E) были отдельно изучены фитоциты в вегетативных и генеративных побегах. В вегетативной части папоротника окремнение выражено более сильно. Кроме окремнения проводящей системы и большого числа эпидермальных слепков из ячеек неправильной формы, выделены следующие морфотипы фитоцитов: трехгранные длинные частицы, зубчатые структуры неправильной формы, аналогичные лопастным формам двух предыдущих видов, длинные ребристые частицы ассиметричные. Для генеративных побегов вида характерны пластинки неправильной формы и ребристые многоугольные структуры.

**Голосеменные, хвойные (Pinopsida).** Для представителей этого семейства характерны разнообразные блочные и ребристые морфотипы фитоцитов (An, 2016), а также слепки из прямоугольных ячеек или с неясной структурой. У вида *Juniperus sibirica* Burgsd (сем. *Cupressaceae*) отмечены лишь неструктурированные слепки. Для вида *Larix sibirica* Ledeb (сем. *Pinaceae*) отмечен один морфотип – длинные ребристые частицы ассиметричные. Наиболее выражено окремнение у видов *Picea obovata* Ledeb. и *Pinus sylvestris* L. (сем. *Pinaceae*), для них подсчитано содержание отдельных морфотипов в процентах. Для вида *Picea obovata* характерны следующие морфотипы фитоцитов: ребристые многоугольные структуры (74 %), блочные структуры с порами (11 %), перфорированные длинные частицы ассиметричные (5 %); в единичном количестве встречаются: длинные округлые частицы ровные, длинные частицы перфорированные, мелкозубчатые длинные частицы ассиметричные, перфорированные длинные частицы ассиметричные, зубчатые структуры неправильной формы, пластинки прямоугольной формы. В иглах *Pinus sylvestris*, собранных в опад встречается следующий набор фитоцитов: ребристые многоугольные структуры (48 %), блочные структуры с порами (25 %), длинные ребристые частицы ассиметричные (19 %), длинные ребристые частицы ровные (2 %), длинные перфорированные частицы ассиметричные (2 %), перфорированные длинные частицы ассиметричные (4 %), в единичном количестве встречаются: волнистые длинные частицы, трехгранные длинные частицы. В иглах *Pinus sibirica* Du Tour (сем. *Pinaceae*), собранных в опад отмечено два морфотипа фитоцитов: пластинки неправильной формы и ребристые многоугольные структуры.

**Покрытосеменные, двудольные (Magnoliopsida).** Выявление специфических форм двудольных растений является важным для оценки участия разнотравья при фитоцитном анализе.

Для вегетативных органов вида *Aegopodium podagraria* L. (сем. *Ariaceae*) отмечены фитоциты в форме длинных округлых частиц ассиметричных и слепки из пластинок прямоугольной формы. В плодах окремнение отмечено лишь в фрагментах проводящей системы. Для вида *Artemisia commutata* Besser (сем. *Asteraceae*) окремнение выражено лишь в эпидермальных слепках из прямоугольных ячеек (в соцветиях) и из круглых ячеек (в вегетативной части). В вегетативной части также наблюдается окремнение элементов проводящей системы. Для вида *Artemisia laciniata* Willd (сем. *Asteraceae*) характерны только слепки из волнистых ячеек, иногда с ребристой поверхностью. Для вида *Artemisia vulgaris* L. (сем. *Asteraceae*) характерны фитоциты двух форм: пластинки неправильной формы и округлые длинные частицы ассиметричные (редко). У вида *Leucanthemum vulgare* Lam. (сем. *Asteraceae*) корзинки и стебли практически не окремневают. В листьях встречаются фитоциты в виде пластинок неправильной формы и слепки из лопастных ячеек. Плоды *Lathyrus gmelinii* Fritsch (сем. *Fabaceae*) не содержат форм



окремнения. Для листьев описаны фитоциты следующих форм: длинные волнистые частицы ровные, длинные ребристые частицы ровные, длинные округлые частицы ассиметричные, пластинки неправильной формы и, крайне редко – трихомы. В ветвях *Lonicera altaica* Pall. (сем. Caprifoliaceae) представлены фитоциты в виде пластинок неправильной формы. В листьях редко встречаются пластинки прямоугольной формы. У вида *Rubus idaeus* L. (сем. Rosaceae) в стеблях окремнение отсутствует. Для листьев характерны слепки из слабо дифференцированных структур. В листьях *Spiraea chamaedryfolia* L. (сем. Rosaceae) присутствуют фитоциты одной формы – длинные округлые частицы ассиметричные. Имеется окремнение в виде слепков из лопастных ячеек и окремнение элементов проводящей системы. В стебле имеются фитоциты в виде волнистых длинных частиц ассиметричных и ребристых длинных частиц ассиметричных и слепки из лопастных ячеек и прямоугольных ячеек с волнистым краем.

**Покрытосеменные, однодольные (Liliopsida).** У однодольных растений формируется наибольшее число специфических форм фитоцитов.

Для вида *Carex muricata* L. (сем. Cyperaceae) характерны фитоциты в виде воронковидных конических частиц (96 %) с, как правило, многоугольным основанием; длинные мелкозубчатые частицы ассиметричные (3 %) и длинные волнистые частицы ровные (1 %). Слепки у этого вида состоят из длинных волнистых ячеек. В стеблях *Luzula sibirica* V.I. Krecz. (сем. Juncaceae) окремнение отсутствует. В листьях имеются следующие формы фитоцитов: длинные ребристые частицы ровные и ассиметричные, пластинки неправильной формы. Также имеется окремнение элементов проводящей системы и слабоструктурированные слепки. В соцветии представлены фитоциты следующих форм: длинные ребристые частицы ассиметричные, крупнозубчатые длинные частицы ассиметричные, ребристые многоугольные структуры и фитоциты неправильной формы.

Для представителей сем. Poaceae отдельно изучалось формирование фитоцитов в листьях, стеблях и генеративных структурах видов. Всего было описано и изучено 26 видов: *Achnatherum sibiricum* (L.) Keng ex Tzvelev, *Agropyron pectinatum* (M. Bieb.) P. Beauv., *Agrostis gigantea* Roth, *Alopecurus pratensis* L., *Anthoxanthum alpinum* Á. Löve & D. Löve, *Brachypodium pinnatum* (L.) Beauv., *Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub, *Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth, *Deschampsia cespitosa* (L.) P. Beauv., *Elymus dahuricus* ssp. *excelsus* (Turcz. ex Griseb.) Tzvelev, *Elymus gmelinii* (Ledeb.) Tzvelev, *Elymus sibiricus* L., *Elytrigia repens* (L.) Nevski, *Festuca pratensis* Huds., *Festuca pseudovina* Hack. ex Wiesb., *Glyceria triflora* (Korsh.) Kom., *Koeleria cristata* (L.) Pers., *Phalaroides arundinacea* (L.) Rauschert, *Phleum pratense* L., *Phleum phleoides* (L.) H. Karst., *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., *Poa angustifolia* L. *Poa sibirica* Roshev., *Stipa capillata* L., *Trisetum altaicum* Roshev., *Trisetum sibiricum* Rupr.

Среди фитоцитов изученных злаков были выделены следующие морфотипы в листьях: веерообразные пузыревидные частицы, параллелипипедовидные пузыревидные частицы, волнистые пластинки, полилопастные трапециевидные частицы, двулопастные частицы *Stipa*-типа, трапециевидный рондель низкий, трапециевидный рондель высокий, конический рондель низкий, конический рондель высокий, килиевидный рондель с одним килем, килиевидный рондель с несколькими килиями, вытянутый рондель, седловидный рондель, ланцетные частицы с массивным основанием, ланцетные частицы с удлинённым шипом, ланцетные частицы треугольной формы. Среди длинных частиц часто встречаются: длинные округлые частицы ровные и ассиметричные, длинные ребристые частицы ровные, мелкозубчатые длинные частицы ровные и ассиметричные, крупнозубчатые длинные частицы. У некоторых видов в листьях присутствуют: длинные ребристые частицы ассиметричные, длинные перфорированные частицы, крупнозубчатые длинные частицы ассиметричные, волнистые длинные частицы ровные и ассиметричные. У *Agropyron pectinatum* отмечены дендритные длинные частицы ровные.

В стеблях злаков представлен тот же набор фитоцитов, что и в листьях, но с большим участием длинных частиц. В генеративных структурах набор фитоцитов также близок к таковому в листьях. Отмечено значительная доля зубчатых длинных частиц у большей части видов злаков.

### Заключение

Анализ фитоцитного состава изученных видов подтвердил, что наиболее разнообразными формами характеризуются представители сем. Poaceae. Наименьшее разнообразие фитоцитов представле-

но у различных семейств двудольных. У представителей двух семейств Malvaceae и Раеoniaceae фитолиты не обнаружены. Однако, количественный учет производимых двудольными неспецифических форм (пластинки неправильной формы, округлые длинные частицы ассиметричные) позволяет оценить долю участия разнотравья в почвенных фитолитных спектрах. Наличие специфических морфотипов у отдельных групп высших растений (осоки, хвойные, мхи, папоротники) способствует идентификации этих групп в фитолитных спектрах.

#### ЛИТЕРАТУРА

*An X. H.* Morphological characteristics of phytoliths from representative conifers in China // *Palaeoworld*, 2016. – № 25. – P. 116–127.

*Hodson M. J., White P. J., Mead A., Broadley M. R.* Phylogenetic Variation in the Silicon Composition of Plants // *Annals of Botany*, 2005. – № 96. – P. 1027–1046.

*Katz O.* Beyond grasses: the potential benefits of studying silicon accumulation in non-grass species // *Frontiers in Plant Science*, 2014. – V. 5. – P. 1–3.

*Katz O.* Silica phytoliths in angiosperms: phylogeny and early evolutionary history // *New Phytologist*, 2015. – № 208. – P. 642–646.