

Флора и растительность Алтая, 15: 5-11 (2023)
DOI: 10.14258/flora.15.1
http://journal.asu.ru/flora/

УДК 581.522.5

**Влияние pH почвы на характеристики фитоцитов эпидермы листьев
Dactylis glomerata L. в условиях юга Западной Сибири**

М. Ю. Соломонова^{1,3}, А. Д. Лященко^{1,2,4}, Т. А. Жембровская^{1,5}

¹Алтайский государственный университет, пр. Ленина, д. 61, г. Барнаул, 656049, Россия

²Алтайский краевой детский экологический центр, Парковая, 7, г. Барнаул, 656045, Россия

³E-mail: m_solomonova@list.ru; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-0036-3760>

⁴E-mail: aleny-lea@mail.ru; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-1135-902X>

⁵E-mail: zhembrovskaya@mail.ru. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-9494-3063>

Ключевые слова: корреляция, морфометрия, фитоциты, эпидерма, *Dactylis glomerata*, pH.

Аннотация. Представленное исследование посвящено оценке влияния pH почвы на морфометрические характеристики фитоцитов (размер и форму) в коротких клетках эпидермы листьев. Изучены листья *Dactylis glomerata* из четырех местообитаний, которые отличаются между собой геоботанически и реакцией среды почвы. Выявлено влияние pH среды на следующие параметры фитоцитов: длина, площадь, периметр, вытянутость и степень выраженности лопастей. Растения, произрастающие в более кислых почвенных условия обладают более крупными и вытянутыми фитоцитами с более выраженными лопастями. Эта зависимость наблюдается как в тенистых, так и в открытых местообитаниях.

Effect of soil pH on the phytoliths characteristics in the leaf epidermis of

***Dactylis glomerata* L. under the conditions of the south of Western Siberia.**

M. Yu. Solomonova^{1,3}, A. D. Lyashchenko^{1,2,4}, T. A. Zhembrovskaya^{1,5}

¹Altai State University, Lenina Pr. Ave., 61, Barnaul, 656049, Russian Federation

²Altai Regional Children's Ecological Center, Parkovaya, 7, Barnaul, 656045, Russian Federation

Keywords: *Dactylis glomerata*, epidermis, correlation, morphometry, phytoliths, pH.

Summary. The presented study is devoted to assessing the influence of soil pH on the phytoliths morphometric characteristics (size and shape) in leaf epidermal short cells. The *Dactylis glomerata* leaves from four habitats were studied, this point differ from each other geobotanically and in the reaction of the soil environment. The effect of environmental pH on the following parameters of phytoliths was revealed: length, area, perimeter, elongation and degree of expression of the blades. Plants growing in more acidic soil have larger and elongated phytoliths with more pronounced lobes. This relationship is observed in both shady and open habitats.

Введение. Фитолиты – кремниевые структуры, формирующиеся в клетках и межклеточных пространствах тканей растений. Ряд морфотипов фитолитов имеет специфическую форму, что позволяет их использовать в палеоэкологических (Rovner 1971; Blinnikov et al. 2001; Druzhinina et al. 2023), археоботанических (Verdin et al. 2001; Albert et al. 2008; Wang et al. 2016; Zhang et al. 2016; Ryabogina et al. 2021) и таксономических исследованиях (Bobrov et al., 2001; Rudall et al., 2014; Hoskova et al., 2021, Solomonova et al., 2022). Наиболее специфичны фитолиты злаков, формирующиеся в коротких эпидермальных клетках (Twiss et al., 1969; Lu, Liu, 2003). Морфометрические характеристики фитолитов, изученные на примере культурных злаков, показывают видовой уровень специфичности (Ball et al. 1996, 1999, 2017; Zhijun et al., 1998; Yost, Blinnikov, 2011; Out and Madella 2016; Wang et al. 2019).

Исследования морфометрических параметров фитолитов не возможны без оценки влияния на них экологических факторов. Для некоторых видов изучено влияние на степень окремнения, размер и форму фитолитов следующих факторов: почвы (в том числе влажности и содержания кремния), интенсивности света и некоторых климатических характеристик (Ball, Brotherson, 1992; Fernandez Honaine, Osterrieth, 2012; Lisztes-Szabo et al., 2014; Dunn et al. 2015; Fernandez Honaine et al., 2016, 2017; Out and Madella, 2016; Wang et al. 2018; Sun et al., 2019; Wang et al. 2019). В условиях юга Западной Сибири выявлено влияние климатических характеристик на морфометрические параметры фитолитов *CRENATE* у *D. glomerata* (Solomonova et al., 2023). В наибольшей степени размер фитолитов ежи и расчетные параметры их формы зависят от суммы годовых осадков. Также отмечено, что фитолиты ежи сборной в лесных условиях отличаются большим размером от фитолитов этого растения в открытых местообитаниях, что согласуется с исследованием влияния степени затенения на размер этого же морфотипа у мятлика (Dunn et al., 2015). Тем не менее, факторы среды имеют комплексное воздействие на растение, поэтому кроме климатических и геоботанических характеристик необходима оценка и ряда других характеристик окружающей среды. Представленное исследование посвящено оценке потенциального влияния реакции среды почвы на размер фитолитов.

Материалы и методы исследования. Фитолиты ежи сборной были исследованы в четырех местообитаниях (Таблица 1). Для исследования pH были отобраны почвенные пробы на глубине 5-15 см. Был исследован уровень pH солевой вытяжки (ГОСТ 26483-85) в испытательной лаборатории ФГБУ Центр Агрохимической службы «Алтайский». В каждом растительном сообществе было собрано по 5 экземпляров *D. glomerata*. Экстракция фитолитов происходила методом сухого озоления (Golyeva, 2001). Изучение полученного образца было проведено с помощью микроскопа Olympus VX-51, камеры Olympus XC-50, программного обеспечения cellSens Standart. В ходе исследования были выполнены фотографии основного морфотипа фитолитов в листьях *D. glomerata* *CRENATE* в проекции сверху. Измерение фитолитов и расчет характеристик размера был произведен с помощью программы ImageJ с установленным плагином «PhytolithsBatch» согласно рекомендации Международного комитета по номенклатуре фитолитов (Ball et al., 2016). Выборка составила 50 фитолитов с каждого экземпляра растений, таким образом, с каждой точки было измерено по 250 частиц. Согласно данным об изменчивости фитолитов у *D. glomerata* (Solomonova et al., 2023), изучены следующие характеристики размера фитолита: площадь, периметр, длина (длина прямой линии), ширина (наибольшая ширина фитолита). Форма фитолитов исследована по следующим показателям: выпуклость (соотношение периметра фигуры, описанной вокруг фитолита к периметру фитолита, 1.0 для идеально выпуклого фитолита, уменьшается с наличием углублений) и плотность (соотношение площади фигуры, описанной вокруг фитолита к площади, 1.0 для идеально выпуклого фитолита, уменьшается с наличием углублений); соотношение сторон; протяженность (отношение длины фитолита по его средней линии к ширине) и извилистость (отношение длины к длине фитолита по его средней линии). Статистическая обработка данных произведена с помощью программного обеспечения Past 4.03. Выполнен расчет средних значений и корреляционный анализ значений pH и средних значений параметров для каждого экземпляра растений.

Результаты и обсуждение. Два растительных сообщества (таблица 1: точки 3, 4) можно отнести к открытым местообитаниям; растения в двух других (таблица 1: точки 1, 2) находятся в затенении (луг в точке 2 находится на границе соснового леса). В точке 1 почва имела нейтральную

Таблица 1

Характеристика мест отбора образцов

№	Растительность	Координаты	Географическое положение	Высота над у.м.
1	Лиственично-березово-яблоневый сквер с клеверово-ежовым травянистым покровом	53.255199°, 83.697011°	Алтайский край, г. Барнаул, р.п. Южный	195 м
2	Разнотравно-ежово-мятликовый послелесной луг	53.264448°, 83.670965°	Алтайский край, г. Барнаул ЮСБС	220 м
3	Крапиво-полынная залежь	53.466527°, 81.811660°	Алтайский край, Шелаболихинский район, с. Крутишка	170 м
4	Тысячелистниково-лапчатково-тимофеевковый луг	54.030990°, 84.989827°	Алтайский край, Залесовский район, окр. с. Борисово, окраина согры	240 м

реакцию среды, в точке 3 слабощелочную (ближе к нейтральной), в точке 2 сильнокислая реакция среды, в точке 4 – среднекислая (Таблица 2). Значения в парах точек 1,3 и 2,4 количественно близки друг к другу. Таким образом, мы имеем два затененных местообитания ежи сборной с различным уровнем рН и два открытых местообитания также с различным уровнем рН. Более того, точки 1 и 2 находятся в одинаковых климатических условиях, но отличаются уровнем рН. Таким образом, набор экологических условий исследуемых местообитаний, допускает проанализировать влияние реакции среды почвы на размер и форму фитолита, не учитывая ряд других факторов.

Характеристики размера фитолита. CRENATE морфотипы эпидермы листьев ежи сборной имеют наиболее мелкие размеры у экземпляров растений собранных в точке 1, произрастающих на почвах с нейтральным рН. Наиболее крупные фитоциты обнаружены в точках 2 и 4, почвы которых имеют кислую реакцию среды. В точке 3 со слабощелочной реакцией почвы фитоциты имеют размеры больше чем в точке 1, но меньше, чем в точке 2 и 4. Среди изученных параметров размера фитолита достоверная отрицательная корреляция с уровнем рН наблюдается для площади, периметра и длины. Для ширины уровень значимости корреляции с рН слабый.

Характеристики формы фитолита. Параметры выпуклости и плотности фитоцитов для CRENATE отражают степень выраженности лопастей. Коэффициент выпуклости варьирует от 0,79 (точка 2) до 0,88 (точка 3), то есть по этому показателю фитоциты с наиболее выраженными лопастями встречаются в точке 2. Корреляция этого параметра с уровнем рН достоверно положительна, т.е. выраженность лопастей уменьшается с ростом рН. По показателю плотности фитоциты с наименее выраженными лопастями встречаются в листьях ежи сборной из точки 3 с наиболее щелочной реакцией почвы, но в остальных точках наблюдается вариативность этого показателя. Корреляция параметра плотности фитолита с рН почвы также положительна, но не имеет достоверного уровня значимости. Таким образом, показатель выраженности лопастей фитолита, рассчитанный через периметр в большей степени зависит рН по сравнению с параметром, рассчитанным через площадь. Соотношение сторон и степень вытянутости фитолита имеют отрицательную корреляцию с показателем рН почвы местообитания, так как длина фитолита имеет такую же зависимость, а

Таблица 2.

Средние значения морфометрических характеристик фитолитов по каждому образцу

№	Площадь, мкм ²	Периметр, мкм	Длина, мкм	Ширина, мкм	Выпуклость	Плотность	Соотношение сторон	Вытянутость	Извилистость	pH
1.1	287,4	107,7	41,14	9,79	0,864	0,812	4,292	4,813	0,89	6,89
1.2	201,1	83,11	31,08	9,13	0,862	0,809	3,451	3,896	0,884	6,89
1.3	216,2	88,91	32,99	9,39	0,848	0,817	3,578	4,065	0,877	6,89
1.4	228,9	89,84	32,67	9,97	0,837	0,819	3,306	3,74	0,882	6,89
1.5	230,1	93,17	35,20	9,75	0,852	0,799	3,719	4,175	0,89	6,89
2.1	453,3	156,1	59,53	10,86	0,841	0,793	5,524	6,234	0,887	4,98
2.2	405,3	135,6	46,67	12,20	0,791	0,804	3,915	4,492	0,869	4,98
2.3	406,8	142,8	53,63	10,45	0,835	0,815	5,209	5,910	0,882	4,98
2.4	358,9	119,9	41,41	11,91	0,809	0,837	3,591	4,132	0,868	4,98
2.5	359,4	119,5	45,30	10,96	0,856	0,842	4,368	4,876	0,894	4,98
3.1	377,5	116,8	44,22	11,73	0,86	0,856	3,924	4,32	0,907	7,43
3.2	276,9	99,9	39,21	9,65	0,88	0,835	4,153	4,572	0,907	7,43
3.3	382,2	120,3	45,11	11,74	0,866	0,838	3,998	4,492	0,889	7,43
3.4	385,2	120,1	44,73	12,03	0,851	0,838	3,833	4,287	0,894	7,43
3.5	399,2	123,2	47,05	11,95	0,861	0,843	4,178	4,649	0,896	7,43
4.1	373,7	127,8	46,82	11,38	0,827	0,804	4,204	4,739	0,889	5,28
4.2	434,3	152,3	60,87	9,88	0,863	0,836	6,368	7,046	0,904	5,28
4.3	316,9	110,2	42,85	10,20	0,867	0,836	4,283	4,724	0,908	5,28
4.4	342,6	101,1	51,23	10,50	0,831	0,822	4,361	4,922	0,889	5,28
4.5	399,6	115,4	59,05	11,05	0,823	0,793	4,753	5,395	0,879	5,28
r*	-0,47	-0,67	-0,55	-0,12	0,58	0,34	-0,51	-0,54	0,32	
ρ*	0,04	0,004	0,01	0,62	0,01	0,15	0,02	0,01	0,17	

* Корреляционный анализ: r - коэффициент Пирсона; ρ - вероятность.

ширина является более стабильным показателем. Фитолиты коротких клеток эпидермы *D. glomerata*, произрастающей на более кислой почве являются более вытянутыми. Извилистость морфотипа *CRENATE* ежи сборной слабо коррелирует с показателем pH почвы местообитания.

Окремнение коротких клеток эпидермы происходит на ранних этапах развития листа (Blackman, 1969; Hodson et al., 1985; Fernandes Honaine et al., 2016; Attolini et al., 2023). Логично было бы предположить, что их размер и форма слабо поддаются влиянию факторов окружающей среды. Исследования показывают, что наиболее вариативными являются клетки эпидермы злаков, кремневающие пассивным путем (Issaharou-Matchi et al., 2016; Fernandes Honaine et al., 2017). Их окремнение, в частности, зависит от интенсивности транспирации. Тем не менее, существуют исследования зависимости размера фитолитов коротких клеток от интенсивности освещения, климатических факторов, влажности почв (Ball, Brotherson, 1992; Fernandez Honaine, Osterrieth, 2012; Lisztes-Szabo et al., 2014; Dunn et al. et al., 2019, Wang et al. 2019). Представленное нами исследование

указывает на то, что и рН почвы может рассматриваться в качестве фактора влияющего на форму и размер CRENATE фитолита коротких клеток.

Предположительно возможно два механизма влияния рН на морфометрические параметры фитолитов. Существуют исследования показывающие зависимость размера растений от рН среды (Patrick et al., 198; Gentili et al., 2018) и в тоже время отмечено влияние размера листьев и генеративного побега на морфометрические характеристики фитолитов злаков (Dunn et al., 2015), в частности и у *D. glomerata* (Solomonova et al., 2023). Таким образом, влияя на процессы роста растений, реакция среды почвы (рН) может влиять и на размер коротких клеток. Второй путь возможного влияния рН на морфометрические характеристики фитолитов заключается в воздействии кислотности почвы на процесс транспирации. На некоторых видах растений показано, что отклонение от оптимальных значений рН почвы и изменение значений рН ксилемной жидкости влияет на интенсивность транспирации (Wilkinson et al., 1998; Khamari et al., 2021). Интенсивность транспирации является наиболее доказанным физиологическим процессом, влияющим на окремнение растительных тканей (Fernandez Honaine et al., 2016, 2017; Issaharou-Matchi et al., 2016; Liu et al., 2016). Зависимость морфометрических характеристик фитолитов от показателей осадков, влажности почвы и солнечной инсоляции (Ball, Brotherson, 1992; Lisztes-Szabo et al., 2014; Dunn et al. 2015; Liu et al., 2016) может быть также объяснено влиянием этих процессов на интенсивность транспирации. Таким образом, мы можем к этим характеристикам среды обитания добавить показатель рН почвы как фактор, влияющий на форму и размер фитолита.

Заключение. Морфометрические характеристики морфотипа CRENATE фитолитов злаков могут быть подвержены влиянию ряда экологических факторов. В ходе исследования влияния рН на размер и форму фитолитов *D. glomerata*, выявлено, что средние значения площади, периметра и длины, степень вытянутости фитолита и выраженности его лопастей увеличиваются в более кислых почвах. Механизм влияния рН на характеристики фитолита может быть объяснен влиянием кислотности почвы на рост растений и транспирацию. Тем не менее, стоит учитывать, что в естественных условиях факторы окружающей среды имеют комплексное влияние на фитолиты. Для более детального изучения влияния рН почвы на фитолиты необходимо проведение модельных опытов по выращиванию злаков в различных условиях.

Благодарности. Исследования выполнены при поддержке Гранта Президента Российской Федерации МК-3359.2022.1.4 “Изменчивость характеристик фитолитов коротких клеток эпидермы *Dactylis glomerata* L. в условиях юга Западной Сибири”.

ЛИТЕРАТУРА

Albert R. M., Shahack-Gross R., Cabanes D., Gilboa A., Lev-Yadun S., Portillo M., Sharon I., Boaretto E., Weiner S. 2008. Phytolith-rich layers from the Late Bronze and Iron Ages at Tel Dor (Israel): mode of formation and archaeological significance. *Journal of Archaeological Science* 35(1): 57–75. DOI:10.1016/j.jas.2007.02.015

Attolini D., Pattelli L., Nocentini S., Wiersma D. S., Tani C., Papini A., Mariotti Lippi M. 2023. Developmental analysis and optical modelling of short cell phytoliths in *Festuca exaltata* (Poaceae). *Flora*: 301. DOI: 10.1016/j.flora.2023.152239

Ball T. B., Brotherson J. D. 1992. The effect of varying environmental conditions on phytolith morphometries in two species of grass (*Bouteloua curtipendula* and *Panicum virginatum*). *Scanning Microscopy* 6(4): 1163–1181.

Ball T. B., Davis A., Evett R. R., Ladwig J. L., Tromp M., Out W. A., Portillo M. 2016. Morphometric analysis of phytoliths: recommendations towards standardization from the International Committee for Phytolith Morphometrics. *Journal of Archaeological Science* 68: 106–111. DOI: 10.1016/j.jas.2015.03.023

Ball T. B., Gardner J. S., Brotherson J. D. 1996. Identifying phytoliths produced by the inflorescence bracts of three species of wheat (*Triticum monococcum* L., *T. dicoccum* Schrank., and *T. aestivum* L.) using computer-assisted image and statistical analyses. *Journal of Archaeological Sciences* 23: 619–632. DOI: 10.1006/jasc.1996.0058

- Ball T. B., Gardner J. S., Nicole A.** 1999. Identifying inflorescence phytoliths from selected species of wheat (*Triticum monococcum*, *T. dicoccum*, *T. dicoccoides* and *T. aestivum*) and barley (*Hordeum vulgare* and *H. spontaneum*) (Gramineae). *American Journal of Botany* 86(11): 1615–1623. DOI: 10.2307/2656798
- Ball T., Vrydaghs L., Mercer T., Pearce M., Snyder S., Lisztes-Szabo Z., Petx A.** 2017. A morphometric study of variance in articulated dendritic phytolith wave lobes within selected species of Triticeae and Aveneae. *Vegetation History and Archaeobotany* 26: 85–97. DOI: 10.1007/s00334-015-0551-x
- Blackman E.** 1969. Observations on the development of the silica cells of the leaf sheath of wheat (*Triticum aestivum*). *Canadian Journal of Botany* 47: 827–838. DOI: 10.1139/b69-120.
- Blinnikov M., Busacca A., Whitlock C.** 2001. A new 100,000-year phytolith record from the Columbia Basin, Washington, U.S.A. In: J. D. Meunier, F. Colin (eds.) *Phytoliths: Applications in Earth Sciences and Human History*. Lisse: Swets end Zeitlinger. Pp. 27–55.
- Bobrov A. A., Bobrova E. K., Alexeev Ju. E.** 2001. Biogenic silica in biosystematics – potential uses. In: J. D. Meunier, F. Colin (eds.) *Phytoliths: Applications in Earth Sciences and Human History*. Lisse: Swets end Zeitlinger. Pp. 279–288.
- Druzhinina O., Napreenko M., Napreenko-Dorokhova T., Golyeva A., Bashirova L.** 2023. Water level fluctuations in the middle and late holocene in the Curonian Lagoon, Southeastern Baltic: results of the macrofossil and phytolith analyses. *Hydrology* 10(11). DOI: 10.3390/hydrology10010011
- Dunn R. E., Le T-Y. T., Strumberg C. A. E.** 2015. Light environment and epidermal cell morphology in grasses. *International Journal of Plant Sciences* 176(9): 832–847. DOI: 10.1086/683278
- Fernandez Honaine M., Borrelli N., Osterrieth M., del Rio L.** 2017. Leaf and culm silicification of Pampas grass (*Cortaderia selloana*) developed on different soils from Pampean region, Argentina. *Australian Journal of Botany* 65(1) 1–10. DOI: 10.1071/BT16154
- Fernandez Honaine M., Benvenuto M. L., Borrelli N. L., Osterrieth M.** 2016. Early silicification of leaves and roots of seedlings of a panicoid grass grown under different conditions: anatomical relation and structural role. *Plant Biology* 18(6):1025–1030. DOI: 10.1111/plb.12488
- Fernandez Honaine M., Osterrieth M.** 2012. Silicification of the adaxial epidermis of leaves of a panicoid grass in relation to leaf position and section and environmental conditions. *Plant Biology* 14 (4): 596–604. DOI: 10.1111/j.1438-8677.2011.00530.x
- Gentili R., Ambrosini R., Montagnani C., Caronni S., Citterio S.** 2018. Effect of Soil pH on the Growth, Reproductive Investment and Pollen Allergenicity of *Ambrosia artemisiifolia* L. *Front. Plant Sci.* 9:1335. DOI: 10.3389/fpls.2018.01335
- Golyeva A. A.** 2001. *Phytoliths and their informational role in the study of natural and archaeological objects*. Moscow; Syktyvkar: Elista, Poltex. 140 pp. [In Russian] (>;L520•••• \$8B>;8BK•8•8E•8=D>@<0F8>==00•@>;L•2•87CG5=88•?@8@>4=KE•8•0@E5>;>38G5A:8E•>1J5:B>2••.;!K:BK2:0@•:•;8AB0•,>;B5:A•,2001. 140 A•.).
- Hoљkovб K., Neustupa J., Pokornэ P., Pokornб A.** 2021. Phylogenetic, ecological and intraindividual variability patterns in grass phytolith shape. *Annals of Botany* XX: 1–11. DOI: 10.1093/aob/mcab143
- Issaharou-Matchi I., Barboni D., Meunier J.-D., Saadou M., Dussouillez P., Contoux C., Zirihi-Guede N.** Intraspecific biogenic silica variations in the grass species *Pennisetum pedicellatum* along an evapotranspiration gradient in South Niger. *Flora* 220: 84–93. DOI:10.1016/j.flora.2016.02.008
- Khamari A., Mohapatra H. S., Padhan S., Patel S., Sahu B., Rana H. K., Mishra A. K.** 2021. Effect of pH stress on transpiration of plants using a new instrument: AM Transpirator. *JETIR* 8(6): 601–608.
- Lisztes-Szabo Z., Kovacs S., Petx A.** 2014. Phytolith analysis of *Poa pratensis* (Poaceae) leaves. *Turkish Journal of Botany* 38(5): 851–863. DOI: 10.3906/bot-1311-8
- Liu L., Jie D., Liu H., Gao Z., Gao G., Li N., Guo J., Qiaoet Z.** 2016. An orthogonal experimental study of phytolith size of *Phragmites communis* in northeast China. *Boreas* 45(1): 122–132. DOI: 10.1111/bor.12139
- Lu H., Liu K.-b.** 2003. Morphological variations of lobate phytoliths from grasses in China and the south-eastern United States. *Diversity and Distribution* 9(1): 73–87. DOI: 10.1046/j.1472-4642.2003.00166.x
- Out W. A., Madella M.** 2016. Morphometric distinction between bilobate phytoliths from *Panicum miliaceum* and *Setaria italica* leaves. *Archaeological and Anthropological Sciences* 8(3): 505–521. DOI:10.1007/s12520-015-0235-6
- Patrick Jr. W. H., Yusuf A., Jugsujinda A.** 1987. Effects of soil pH and Eh on growth and nutrient uptake by rice in a flooded oxisol of Sitiung area of Sumatra, Indonesia. *Technical Report* 2: 1 – 25.
- Rovner I.** 1971. Potential of opal phytoliths for use in paleoecological reconstruction. *Quaternary Research* 1(3) 343–359. DOI: 10.1016/0033-5894(71)90070-6

- Rudall P. J., Prychid C., Gregory T.** 2014. Epidermal patterning and silica phytoliths in Grasses: An evolutionary history. *The Botanical Review* 80(1): 59–71. DOI: 10.1007/s12229-014-9133-3
- Ryabogina N. E., Yuzhanina E. D., Ivanov S. N., Golyeva A. A.** 2021. Microbiomarkers of the natural environment and interior design of Neolithic and Eneolithic dwellings (Settlement Mergen 6 and 7). *Bulletin of Archeology, Anthropology and Ethnography* 4(55): 5–16. [In Russian] (**Рябогина Н. Е., Южанина Э. Д., Иванов С. Н., Гольева А. А.** Микробиомаркеры природного окружения и внутреннего обустройства жилищ неолита и энеолита (Поселение Мергенъ 6 и 7) // Вестник археологии, антропологии и этнографии, 2021. № 4(55). С. 5–16).
- Solomonova M. Y., Speranskaya N. Y., Blinnikov M. S., Zhebrovskaya T. A., Silantyeva M. M.** 2022. Separation of wavy and polylobate forms of phytoliths of the “crenate” morphotype in Pooideae Benth. species of the south of Western Siberia on the basis of phylogenetic data. *Turczaninowia* 25(4): 122–135. DOI: 10.14258/turczaninowia.25.4.13
- Solomonova M. Y., Zhebrovskaya T. A., Lyashchenko A. D., Kotov S. D., Speranskaya N. Y.** 2023. Environmental impact on phytolith morphometric parameters by example crenate morphotype of *Dactylis glomerata* L. leaves (South of Western Siberia, Russia). *Acta Biologica Sibirica* 9: 953–973. DOI: 10.5281/zenodo.10101537
- Sun X., Liu Q., Tang T., Chen X., Luo X.** 2019. Silicon fertilizer application promotes phytolith accumulation in rice plants. *Frontiers in Plant Science* 10. DOI: 10.3389/fpls.2019.00425
- Twiss P. C., Suess E., Smith R.** 1969. Morphological classification of grass phytoliths. *Soil Science Society of America Proceedings* 33, 1: 109–117. DOI: 10.2136/sssaj1969.03615995003300010030x
- Verdin P., Berger J.-F., Lopez-Saez J.-A.** 2001. Contribution of phytolith analysis to the understanding of historical agrosystems in the Rhône mid-valley (Southern France). In: J. D. Meunier, F. Colin (eds.) *Phytoliths: Applications in Earth Sciences and Human History*. Lisse: Swets end Zeitlinger. Pp. 155–171
- Wang C., Lu H., Zhan J., Mao L., Ge Y.** 2019. Bulliform phytolith size of rice and its correlation with hydrothermal environment: a preliminary morphological study on species in Southern China. *Frontiers in Plant Science* 10. DOI: 10.3389/fpls.2019.01037
- Wang J., Liu L., Ball T., Yu L., Li Y., Xing F.** 2016. Revealing a 5,000-y-old beer recipe in China. *PNAS* 113(23): 6444–6448. DOI: 10.1073/pnas.1601465113
- Wang J., Liu L., Gao Z., Jie D.** 2018. Effects of available soil silicon on the formation of phytoliths in *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud, Poaceae. *Botany Letters* 166(1): 51–63. DOI: 10.1080/23818107.2018.1544505
- Wilkinson S., Corlett J. E., Oger L., Davies W. J.** 1998. Effects of xylem pH on transpiration from wild-type and flacca tomato leaves. *Plant Physiol.* 117 (2): 703–709.
- Yost C., Blinnikov M.** 2011. Locally diagnostic phytoliths of wild rice (*Zizania palustris* L.) from Minnesota, USA: comparison to other wetland grasses and usefulness for archaeobotany and paleoecological reconstructions. *Journal of Archaeological Science* 38(8): 1977–1991. DOI: 10.1016/j.jas.2011.04.016
- Zhang J., Lu H., Sun G., Flad R., Wu N., Huan X., He K., Wang Y.** 2016. Phytoliths reveal the earliest fine reedy textile in China at the Tianluoshan site. *Scientific Reports* 6(1): 1–7. DOI: 10.1038/srep18664
- Zhijun Z., Pearsall D. M., Benfer R., Piperno D. R.** 1998. Distinguishing rice (*Oryza sativa* Poaceae) from wild *Oryza* species through phytolith analysis, II: Finalized method. *Economic Botany* 52(2): 134–145. DOI: 10.1007/BF02861201