

Разнообразие форм фитолитов почв Кулунды и их фитоценотическая принадлежность

Variety of forms of phytoliths of Kulunda soils and their phytocenotic affiliation

Лада Н. Ю.

Lada N. Y.

*Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, г. Новосибирск, Россия. E-mail: n.lada@issa-siberia.ru
Institute of Soil Science and Agrochemistry Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia*

Реферат. Фитолиты – важная составляющая часть почвенного и растительного покрова. Благодаря фитолитному анализу можно идентифицировать растительный покров спустя длительное время. Сведений о переходе аморфного кремнезема в виде фитолитов из растительной массы в почву практически нет. Этот очень важный этап формирования почвенного фитолитного спектра рассматривался в работах Н. К. Киселевой. Она при изучении фитолитных спектров доминирующих злаков и осок рассчитала коэффициент доли их участия для монгольских степей, а также ею предложено понятие «фитолитного спектра». В данной работе была предпринята попытка оценить корреляцию набора форм фитолитов и их соотношение в верхнем слое почвы, с современным составом растительности. Для этого проанализированы фитолитные спектры почв и растительности трех экосистем, сопоставлены фитолитные спектры современных почв. Также был применен подход Нины Кузьминичны Киселевой и полученные нами результаты таксономической диагностики видов растений по формам их фитолитов. Исследования проводили на территории Северо-Кулундинской озерно-аллювиальной равнины. Фитолитный комплекс поверхностного слоя почв разнотравно-типчаковой с полынью степи характеризуется преобладанием двух групп фитолитов: усеченных конусовидных форм (RONDEL) фитолитов и трапециевидных волнистых пластинок (CRENATE). В почвах закустаренной ковыльно-разнотравной степи и солонцеватой степи со злаково-солодковым сообществом к ним добавляются трапециевидные полилопастные пластинки (CRENATE) и двулопастные частицы (BILOBATE). Остальные индикаторные формы присутствуют в незначительном количестве. Вычисление почвенного фитолитного комплекса позволяет диагностировать ценотический состав злаков фитолитного спектра.

Ключевые слова. Кулунда, фитолиты, фитолитный спектр, фитолитный комплекс, ICPN 2.0.

Summary. Phytoliths are an important component of soil and vegetation cover. Thanks to phytolith analysis, it is possible to identify vegetation cover after a long time. There is practically no information about the transition of amorphous silica in the form of phytoliths from plant mass to soil. This very important stage in the formation of the soil phytolith spectrum was considered in the works of N. K. Kiseleva. When studying the phytolith spectra of dominant grasses and sedges, she calculated the coefficient of their participation for the Mongolian steppes, and further she proposed the concept of “phytolith spectrum.” In this work, we made an attempt to assess the correlation of the set of phytolith forms and their ratio in the upper soil layer with the modern composition of vegetation. For this purpose, the phytolith spectra of soils and vegetation of three ecosystems were analyzed, and the phytolith spectra of modern soils were compared. We also applied the approach of Nina Kiseleva and the results we obtained of taxonomic diagnosis of plant species based on the forms of their phytoliths. The research was carried out on the territory of the North Kulunda lacustrine-alluvial plain. The phytolith complex of the surface layer of soils of the forb-fescue with wormwood steppe is characterized by the predominance of two groups of phytoliths: truncated cone-shaped (RONDEL) phytoliths and trapezoidal wavy plates (CRENATE). In the soils of the bushy feather-grass-forb steppe and solonchic steppe with a cereal-licorice community, trapezoidal polylobed plates (CRENATE) and bilobed particles (BILOBATE) are added to them. Other indicator forms are presented in small quantities. Calculation of the soil phytolith complex allows one to diagnose the coenotic composition of cereals of the phytolith spectrum.

Key words. Complex of the phytoliths, ICPN 2.0, Kulunda, phytoliths, spectrum of the phytoliths.

Введение. Фитолиты – важная составляющая часть почвенного и растительного покрова. После жизнедеятельности растений, в результате биоминерализации (Сперанская и др., 2013), они поступают в почвенную толщу и сохраняются там. Благодаря фитолитному анализу можно идентифицировать растительный покров спустя длительное время (Гольева, 2001).

В течение многих лет в нашей стране изучали и совершенствовали фитоолитный анализ – Н. К. Киселева (1982), Д. А. Гаврилов, А. А. Гольева (2014), А. А. Бобров и др. (1991).

В настоящее время на территории Западной Сибири ведутся работы по сбору и анализу данных о соотношении фитоолитов, накапливающихся в почве и продуцируемых в растениях конкретного фитоценоза (Чекменева, Сперанская, 2018), соотношению спектров фитоолитов почв и их составом в растениях (Сперанская и др., 2019). В Институте почвоведения и агрохимии СО РАН проводятся работы по определению времени формирования почвенного покрова с помощью фитоолитного анализа почвенного профиля (Лада, Смоленцев, 2015; Гаврилов, 2018).

Однако анализ литературных данных показал, что сведений о переходе аморфного кремнезема в виде фитоолитов из растительной массы в почву практически нет. Этот очень важный этап формирования почвенного фитоолитного спектра рассматривался в работах Н. К. Киселевой. Она при изучении фитоолитных спектров доминирующих злаков и осок рассчитала коэффициент доли их участия для монгольских степей. Ею дано определение фитоолитного комплекса и предложена формула расчета доли участия каждого рода того или иного злака в этом комплексе, а также дано понятие «фитоолитного спектра», как соотношение всех индикаторных форм фитоолитов (Киселева, Князев, 1984; Динесман и др., 1989). Основываясь на методику Нины Кузьминичны Киселевой и используя полученные нами результаты таксономической диагностики видов растений по формам их фитоолитов, сопоставляя фитоолитные спектры современных почв, была предпринята попытка оценить корреляцию набора форм фитоолитов и их соотношением в верхнем слое почвы с современным составом растительности.

Материалы и методы. Исследования проводили на территории Северо-Кулундинской озерно-аллювиальной равнины, расположенной в южной части Западно-Сибирской низменности в пределах Обь-Иртышского междуречья.

Почвообразующими породами служат покровные суглинки или делювиальные отложения (Угланов, 1981). Ключевой участок располагается в юго-западной части Баганского р-на и представляет собой катену, полого спускающуюся к оз. Баган. На катене были выбраны три позиции: элювиальная, трансэлювиальная и трансаккумулятивная.

Почвы автоморфных позиций ландшафта (53°54'16,8" с. ш., 77°08'51,4" в. д.) представлены черноземами дисперсно-карбонатными осолоделыми (название по: Классификация и диагностика ..., 2004). Растительность данного участка представлена фрагментом разнотравно-типчаковой с полыньей степи с проективным покрытием 80 %. Доминантами являются злаки: *Stipa capillata* L. – 10 %, *Festuca valesiaca* Gaudin – 10 %, *Koeleria cristata* (Spreng.) DC. – 5 %, *Cleistogenes squarrosa* Trin. – 5 %, а также полукустарничек *Artemisia frigida* Willd. – 10 % и *Carex duriuscula* C. A. Mey. – 5 %. Единично представлены: *Artemisia commutata* Besser, *Astragalus testiculatus* Pall., *Achillea nobilis* L., *Androsace septentrionalis* L., *Diantus versicolor* Fisch. ex Link, *Erisimum cheiranthoides* L., *Onosma simplicissima* L., *Vaccaria hispanica* (Mill.) Rauschert, *Carex humilis* Leyss., *Veronica incana* L., *Galium verum* L.

Почвенный покров трансэлювиальной позиции (53°54'16,83" с. ш., 77°08'49,87" в. д.) катены представлен стратоземами светлогумусовыми водно-аккумулятивными (название по: Классификация и диагностика ..., 2004).

Растительность трансэлювиальной позиции представлена фрагментом закустаренной ковыльно-разнотравной степью. Проективное покрытие 80–95 %.

Доминанты: *Stipa capillata* L. – 10 %, *S. pennata* L. – 10 %, *Festuca valesiaca* Gaudin – 15 %, *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth – 5 %, *Koeleria cristata* (L.) Pers. – 5 %, *Phleum phleoides* (L.) Karst. – 3 %, *Artemisia frigida* Willd. – 15 %, *Thimus marschallianus* Willd. – 2 %, *Glycyrrhiza uralensis* Fisch. – 10 %.

Единично представлены: *Achillea nobilis* L., *Artemisia glauca* Pall. ex Willd., *A. dracunculus* L., *A. pontica* L., *Festuca rubra* L., *Centaurea scabiosa* L., *Carex supina* Willd. ex Wahlenb., *Libanotis intermedia* Rupr., *Helictotrichon desertorum* (Less.) Nevski, *Fragaria viridis* Duch., *Hierochloa glabra* Trin., *Galium verum* L., *Potentilla bifurca* L., *P. argentea* L.

На трансаккумулятивной позиции (53°54'08,5" с. ш., 77°08'40,6" в. д.) зафиксировано распространение солонцов светлых (название по: Классификация и диагностика ..., 2004).

Растительность данного участка катены представляет собой фрагмент солонцеватой степи со злаково-солодковым растительным сообществом. Проективное покрытие – 40–60 %.

Доминанты: *Puccinella tenuissima* Litv. ex V. I. Krecz. – 5 %, *Leymus paboanus* (Claus) Pilg. – 10 %, *Artemisia nitrosa* Web. ex Stechm. – 10 %, *Glycyrriza uralensis* Fisch. – 10 %, *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth – 10 %, *Carex praecox* Schreb. – 3 %.

Единично представлены: *Atriplex verrucifera* M. Bieb., *Limonium gmelini* (Willd.) Kuntze, *Puccinellia distans* (Jacq.) Parl., *Potentilla argentea* L., *Kochia prostrata* (L.) Schrad., *Alisum tortuosum* Waldst. et Kit. ex Willd., *Plantago maritima* L., *Goniolimon speciosum* (L.) Boiss., *Lepidium crassifolium* Waldst. et Kit., *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.

Для микробиоморфного анализа почв отбор проб производили через каждые 10 см с соблюдением границ горизонтов. Образцы укладывали в полиэтиленовые пакеты с пометкой на этикетке места и даты отбора, номера почвенного разреза, горизонта и глубины. Выделение фитолитов из почв проводилось методом мацерации (Гольева, 2001).

Для изучения фитолитных спектров были отобраны стебли и листья растений, закончивших цикл вегетации. Подготовка образцов проводилась методом сухого озоления (при 400 °С) с последующей обработкой 10%-й соляной кислотой (Гольева, 2001). Затем зола изучалась в растворе глицерина с помощью оптического микроскопа (×400). Учет морфотипов проводился с помощью микроскопа (МИКМЕД-6, «ЛОМО», Россия) путем подсчета суммы фитолитов на площадь покровного стекла (24 × 24 мм). При просмотре препаратов учитывались все встреченные формы, наиболее информативны из них индикаторные.

Результаты и обсуждение. В результате полученных нами данных были выделены несколько фитолитных комплексов: комплекс доминантных морфотипов фитолитов двудольных растений; комплекс диагностических морфотипов фитолитов семейства злаковых (Poaceae); диагностический морфотип фитолитов семейства осоковых и отдельных видов злаков (Лада, Гаврилов, 2016). Удлиненные морфотипы фитолитов с гладкой поверхностью (ELONGATE ENTIRE) характерны для широкого круга растений (Twiss et al., 1969; Динесман и др., 1989; Гольева, 2001). Для идентификации видовой принадлежности наиболее информативно семейство злаковых. Крупные параллелепипедовидные (BULLIFORM FLABELLATE) формы фитолитов характерны для видов рода *Phragmites* sp. Двулопастные (BILOBATE) морфотипы являются индикаторами условий с достаточным увлажнением и высокой освещенностью. Для юга Западной Сибири данный морфотип представлен в основном у культурных растений и у видов подсемейства *Panicoideae*. Данный морфотип служит индикаторной формой рода *Cleistogenes* sp. (Киселева, 1982). Трапезиевидные полилопастные (CRENATE) морфотипы фитолитов распространены среди подсемейства *Pooideae*. По данным исследований Н. К. Киселевой (1982), проведенных на территории степных экосистем Монголии, роды *Calamagrostis* sp. и *Poa* sp. продуцируют данный морфотип фитолитов.

По результатам проведенных подсчетов по Н. К. Киселевой (1982) вычислялся фитолитный спектр почв, т. е. количество индикаторных форм фитолитов различных злаков (табл. 1), к их общей сумме (табл. 2).

Таблица 1

Индикаторные формы фитолитов некоторых злаков и осоковых

Названия таксонов	Содержание индикаторной формы, N _{инд} %	Коэффициент пересчета, K = 100 % / N _{инд}
<i>Festuca valesiaca</i> , <i>Stipa capillata</i> , <i>Puccinellia distans</i> , <i>Elytrigia repens</i> N _{10общ.}	56	1,79
<i>Koeleria glauca</i> , <i>Calamagrostis arundinacea</i> , <i>Bromopsis inermis</i> N _{20общ.}	27	3,70
<i>Poa pratensis</i> , <i>Phleum</i> N _{30общ.}	27	3,70
<i>Cleistogenes</i> N _{40общ.}	70	1,43
<i>Phragmites</i> N _{50общ.}	24	4,17
<i>Carex</i> N _{60общ.}	70	1,43

На основе фитолитных спектров рассчитывался фитолитный комплекс – соотношение сумм всех форм фитолитов каждого рода злаков, находящихся в почве (в %) к общему количеству всех форм кремниевых тел, поступивших в почву.

Вначале вычисляется общее количество всех форм фитолитов каждого рода злаков N_{общ.}, входящего в фитолитный спектр почвы по формуле: N_{10общ.} = N_{инд.} K (табл. 1), где N_{1инд.} – абсолютное количество

ство фитоцитов индикаторной формы определенного рода (группы) злаков, подсчитанное в препарате кремниевых тел, выделенных из почвы (шт.), K – пересчетный коэффициент, равный отношению всего набора фитоцитов, выделенных из растений $K = 100\% / N_{\text{инд}}$.

Общие количества фитоцитов каждого рода злака $N_{\text{общ}}$, входящего в фитоцитный комплекс почвы для всего фитоцитного спектра суммируются.

$N_{\text{сум}} = N_{1\text{общ}} + N_{2\text{общ}} + \dots + N_{\text{кобш}}$ сумма всех форм фитоцитов каждого рода злака, входящего в фитоцитный комплекс почвы. По отношению к этой величине рассчитывалась доля участия фитоцитов различных родов злаков в фитоцитном комплексе почвы. При этом фитоцит одного вида злака соответствует всему роду.

Таблица 2

Фитоцитный спектр почв.

Содержание индикаторных форм в почвенных образцах (0–4 см), % от общего числа фитоцитов

Название морфотипов фитоцитов			Тип степи					
			Разнотравно-типчакочная с полыньестепь		Закустаренная ковьильно-разнотравная		Солонцеватая со злаково-солодковым сообществом	
Русский эквивалент	ICPN 1.0 (Madella et al., 2005)	ICPN 2.0 (Neumann et al., 2019)	Количество	Доля участия	Количество	Доля участия	Количество	Доля участия
Усеченная конусовидная короткая клетка	Rondel	RONDEL	35,8	61,7	28,6	68	5,37	41,3
Трапезиевидная волнистая	Trapeziform sinuate	CRENATE	22,2	38,3	7,4	18	7,4	57
Трапезиевидная полилопастная	Trapeziform polylobate	CRENATE	0		3,70	9	0	
Двулопастная короткая клетка	Bilobate short cell	BILOBATE	0		1,43	4	0	
$N_{\text{сум}}$ (общая сумма)			58		41		13	

В результате сопоставления фитоцитных спектров злаковых в современной растительности с фитоцитным спектром почв были получены следующие результаты:

1. Доля участия фитоцитов группы злаков *Festuca valesiaca*, *Stipa capillata*, *Puccinellia distans*, *Elytrigia repens* в фитоцитном комплексе чернозема составляет 61,7 %, для которых диагностической формой является усеченная конусовидная рондель (RONDEL). 38,3 % составляют диагностические фитоциты видов *Koeleria glauca*, *Calamagrostis arundinacea*, *Bromopsis inermis* – трапезиевидные волнистые пластинки (CRENATE). Данный фитоцитный состав сопоставим с комплексом современной растительности *Stipa capillata* L. – 10 %, *Festuca valesiaca* Gaudin – 10 %, *Koeleria cristata* (Spreng.) DC. – 5 %.

2. В фитоцитном комплексе стратозема доля участия фитоцитов группы злаков *Festuca valesiaca*, *Stipa capillata*, *Puccinellia distans*, *Elytrigia repens* составляет 68 %, для которых диагностической формой является усеченная конусовидная рондель (RONDEL). 18 % составляют диагностические фитоциты видов *Koeleria glauca*, *Calamagrostis arundinacea*, *Bromopsis inermis* – трапезиевидные волнистые пластинки (CRENATE). Доля трапезиевидных полилопастных пластинок (CRENATE) группы *Poa pratensis*, *Phleum phleoides* в фитоцитном комплексе стратозема – 9 %. Диагностический морфотип рода *Cleistogenes* в виде двулопастных частиц (BILOBATE) – 4 %. Доминанты современной растительности: *Stipa capillata* L. – 10 %, *S. pennata* L. – 10 %, *Festuca valesiaca* Gaudin – 15 %, *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth – 5 %, *Koeleria cristata* (L.) Pers. – 5 %, *Phleum phleoides* (L.) Karst. – 3 %.

3. В фитоцитном комплексе солонца количество частиц первой группы злаков $N_{1\%} = 41,3$ %, второй же $N_{2\%} = 57$ %. Доминанты современной растительности солонцеватой степи со злаково-солодковым сообществом: *Puccinella tenuissima* Litv. ex V. I. Krecz. – 5 %, *Leymus paboanus* (Claus) Pilg. – 10 %, *Artemisia nitrosa* Web. ex Stechm. – 10 %, *Glycerriza uralensis* Fisch. – 10 %, *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth – 10 %.

Заключение. Фитолитный комплекс поверхностного слоя почв разнотравно-типчаковой с пыльной степи характеризуется преобладанием двух групп фитолитов: усеченных конусовидных форм (RONDEL) фитолитов и трапециевидных волнистых пластинок (CRENATE). В почвах закустаренной ковыльно-разнотравной степи и солонцеватой степи со злаково-солодковым сообществом к ним добавляются трапециевидные полилопастные пластинки (CRENATE) и двулопастные частицы (BILOBATE). Остальные индикаторные формы присутствуют в незначительном количестве.

На основании этих данных можно сделать вывод о ведущей роли злаков *Festuca valesiaca*, *Stipa capillata*, *Puccinellia distans*, *Elytrigia repens*, *Koeleria glauca*, *Calamagrostis arundinacea*, *Bromopsis inermis*.

Вычисленные фитолитные комплексы по методике Н. К. Киселевой соответствуют злакам в растительном покрове, установленном по геоботаническим характеристикам.

Наибольшей степенью соответствия морфотипов фитолитов в почвенных образцах и в современных растениях обладает набор диагностических морфотипов фитолитов злаков.

Набор фитолитов, продуцируемый современной растительностью и фитолитным комплексом почв в целом одинаковый.

Диагностические морфотипы фитолитов родов *Carex* и *Phragmites* в верхнем горизонте почв зафиксированы не были, возможно, ввиду их низкой сохранности.

Вычисление почвенного фитолитного комплекса позволяет диагностировать ценотический состав злаков фитолитного спектра.

ЛИТЕРАТУРА

Бобров А. А., Хилимонюк И. З., Чемеровская Е. К. Аккумуляция биогенного кремнезема в разновозрастных почвах южной тайги // Почвоведение, 1991. – № 8. – С. 137–142.

Гольева А. А. Фитолиты и их информационная роль в изучении природных и археологических объектов. – Москва-Сыктывкар-Элиста: Полтекс, 2001. – 140 с.

Гаврилов Д. А. Транслокация фитолитов в почве // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии, 2018. – Т. 17. – С. 281–285.

Гаврилов Д. А., Гольева А. А. Микробиоморфное исследование почв со вторым гумусовым горизонтом южно-таежной подзоны Западной Сибири // Вестник Томского гос. ун-та. Биология, 2014. – № 2 (26). – С. 5–22.

Динесман Л. Г., Киселева Н. К., Князев А. В. История степных экосистем Монгольской Народной Республики. – М.: Наука, 1989. – 213 с.

Классификация и диагностика почв России / Авторы и сост.: Л. Л. Шишов, В. Д. Тонконогов, И. И. Лебедева, М. И. Герасимова. – Смоленск: Ойкумена, 2004. – 342 с.

Киселева Н. К. Изучение фитолитов в почвах для выяснения истории растительности степей восточной Монголии // Известия Академии наук СССР. Серия географическая, 1982. – Т. 2. – С. 95–106.

Киселева Н. К., Князев А. В. Опыт применения фитолитного анализа для выявления географической и вековой изменчивости питания животных // Проблемы изучения современных биогеоценозов. – М.: Наука, 1984. – С. 29–63.

Лада Н. Ю., Гаврилов Д. А. Анализ фитолитного состава основных растений степных экосистем Западной Сибири // Вестник Томского государственного университета. Биология, 2016. – № 2 (34). – С. 53–68. DOI: 10.17223/19988591/34/4

Лада Н. Ю., Смоленцев Б. А. Фитолитный анализ генезиса стратозема светлогумусового (на примере приозерной территории озера Баган) // Вестник Томского государственного университета. Биология, 2015. – № 1 (29). – С. 16–27. DOI: 10.17223/19988591/29/2

Сперанская Н. Ю., Соломонова М. Ю., Силантьева М. М. Трихомы и лопастные фитолиты растений как возможные индикаторы мезофильных сообществ при реконструкции растительности // Приволжский научный вестник, 2013. – № 11(27). – С. 40–46.

Сперанская Н. Ю., Соломонова М. Ю., Чекменева Е. Н. Фитолиты растений в фитолитных спектрах луговых фитоценозов Северного Алтая // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии, 2019. – Т. 18. – С. 408–411. DOI: 10.14258/pbssm.2019083

Уланов И. Н. Мелиорируемая толща почв и пород юга Западной Сибири. – Новосибирск: Наука, Сиб. отделение, 1981. – 193 с.

Чекменева Е. Н., Сперанская Н. Ю. Фитолиты растений в фитолитных спектрах лесных фитоценозов Северного Алтая // Ломоносовские чтения на Алтае: фундаментальные проблемы науки и техники: Сб. науч. статей междунар. конф. – Барнаул: Изд-во АлтГУ, 2018. – С. 1226–1229.

Madella M., Alexandre A., Ball T. International Code for Phytolith Nomenclature 1.0 // Annals of Botany, 2005. – Vol. 96. – P. 253–260. DOI: 10.1093/aob/mci172

Neumann K., Strömberg C. A. E., Ball T., Albert R. M., Vrydaghs L., Cummings L. S. International code for phytolith nomenclature (ICPN) 2.0 // *Annals of Botany*, 2019. – Vol. 124 (2). – P. 189–199. DOI: 1093/aob/mcz064

Twiss P. C., Suess E., Smith R. Morphological classification of grass phytoliths // Reprinted from the *Soil Science Society of America Proceedings*, 1969. – Vol. 33, No. 1. – P. 109–117.