

УДК 631.412:631.74 (571.621)

## ФОРМЫ БИОГЕННОГО КРЕМНЕЗЕМА В ЛУГОВЫХ ПОЧВАХ СРЕДНЕАМУРСКОЙ НИЗМЕННОСТИ

Л.А. Матюшкина<sup>1</sup>, А.А. Гольева<sup>2</sup>, А.С. Стенина<sup>3</sup>, Г.В. Харитонов<sup>1</sup><sup>1</sup>Институт водных и экологических проблем ДВО РАН,

ул. Дикопольцева 56, г. Хабаровск, 680000,

e-mail: lira@iver.as.khb.ru, gkharitonova@mail.ru;

<sup>2</sup>Институт географии РАН,

Старомонетный пер. 29, Москва, 119017,

e-mail: alexandragolyeva@rambler.ru;

<sup>3</sup>Институт биологии Коми НЦ УРО РАН,

ул. Коммунистическая 28, г. Сыктывкар, 167982,

e-mail: stenina@ib.komisc.ru

*С применением современных экспериментальных методов получены новые сведения о присутствии в луговых почвах Среднеамурской низменности биогенных форм кремнезема, представленных остатками фитоцитов и панцирей диатомовых водорослей. Выявлены особенности перераспределения фитоцитов и диатомей в почвенном профиле, показана их принадлежность к определенным биоценозам. В почвенном профиле преобладают луговые формы фитоцитов. Диатомовые водоросли представлены мелкоклеточными (предположительно споры *Cyclotella* sp.) и крупными формами из родов *Nitzschia* и *Eunotia*.*

**Ключевые слова:** луговой подбел, Среднеамурская низменность, биогенный кремнезем, фитоциты, диатомовые водоросли.

### Введение

Аморфный кремнезем  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  образуется в почвах в процессе выветривания и почвообразования. В отличие от кремнезема, образовавшегося хемогенным путем, в почвах может присутствовать аморфный кремнезем в виде биогенных форм – остатков опаловых фитоцитов, панцирей диатомовых водорослей, спикул губок, раковин амёб [2, 3].

Фитоциты поступают в почвы из растений, в которых они формируются в результате окремнения клеточных стенок, внутриклеточного содержания и различных участков растительных тканей. Фитоциты имеют микронные размеры и содержат включения органического вещества (~2–3% углерода) [17, 20]. Фитоцитные тела специфической формы и/или морфологии имеют диагностическое значение и могут служить в фитоцитном анализе для идентификации отдельных растений и фитоценозов [2, 3]. Диатомовые водоросли населяют почвы на разных стадиях их эволюции. Панцирь диатомей так же, как и фитоциты, состоит из аморфного кремнезема, его вес

может составлять до ~70% сухого веса клетки [5, 16, 19].

Исследователи указывают на большое значение почвенных фитоцитов, диатомей и спикул губок в палеопочвенных, палеоботанических и археологических исследованиях [2, 3, 8, 15, 18]. Луговые почвы Приамурья в этом отношении мало изучены. В частности, остается до конца не раскрытым происхождение новообразований аморфного кремнезема в виде так называемой «кремнеземистой присыпки», присутствие которой в гидроморфных почвах региона неоднократно отмечалось исследователями. Фитоциты и диатомей в почвах Приамурья изучены крайне недостаточно. Имеются только единичные сведения о фитоцитах в дальневосточных растениях (Приморье) и ископаемых растениях-углеобразователях (Амурская область) [6–8]. В то же время отмечается важная роль опалового вещества фитоцитов и диатомей как промежуточного этапа геохимической миграции кремнезема в условиях Приамурья [9, 11].

Цель настоящей работы – оценить содержание и распределение биогенных форм кремнезема

в гидроморфных почвах Приамурья, выявить особенности их макро- и микроморфологии.

#### **Объекты и методы исследования**

В качестве объекта исследования гидроморфных почв был выбран луговой подбел, формирующийся на слабо приподнятом участке 2-й надпойменной террасы р. Амур в юго-западной части низменности под разнотравно-осоково-вейниковым лугом (окрестности с. Бабстово, Ленинский район ЕАО). Проведенные в других регионах России исследования почв показали, что наибольшие количества фитолитов и диатомей сосредоточены в гранулометрических фракциях средней пыли (элементарные частицы размером 0,005–0,01 мм) [2, 3]. Поэтому для обнаружения и диагностики кремниевых микробиоморф (фитолиты и диатомовые водоросли) в луговом подбеле были взяты образцы по глубине почвенного профиля. Из них были выделены гранулометрические фракции средней пыли.

Подготовка образцов среднепылевой фракции к анализу проведена согласно руководствам [2, 3]. Для обнаружения в подготовленных образцах фитолитов и панцирей диатомовых водорослей, выявления их морфологических форм и диагностики происхождения использовался оптический микроскоп Nikon Eclipse E200 с рабочим увеличением  $\times 400$  и растровый электронный микроскоп «EVO 40 HV» (Карл Цейсс, Германия) с максимальным увеличением 50 000. Для РЭМ анализа использовали образцы после приготовления из них суспензий в этиловом спирте, высушивания и напыления Au. Для определения вида фитолитов использовали атлас фитолитов растений основных природных зон Европейской территории России [2, прил. II].

Физико-химические анализы почвенных образцов в целом выполнены общепринятыми методами [1]. Определены величины актуальной и обменной кислотности, сумма обменных оснований ( $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ ), органический углерод ( $\% \text{C}_{\text{орг}}$ ), содержание гранулометрической фракции средней пыли.

#### **Результаты и их обсуждение**

Морфологическое строение профиля лугового подбела четко дифференцировано на генетические горизонты: AY–AUg–AUELnn,g–ELnn,g–ELBTg – B1Tg – B2Tg – (BC)g – Cg. Буквенные индексы обозначают последовательную смену горизонтов сверху вниз. После дернины и гумусово-аккумулятивного горизонта (0–14 см) следует характерный для почв этого типа элювиально-глеевый горизонт (15–50(65) см) – уплотненный, бе-

лесовато-серый, с Fe-Mn конкрециями. Ниже, на глубине 50(65) – 120 см, расположена иллювиальная толща со своеобразной структурой – зернистой или «икрянистой» в верхней части и глыбисто-ореховатой в нижней. Характерный признак этого горизонта – присутствие осветленного тонкодисперсного вещества («кремнеземистая присыпка») на гранях структурных отдельностей и его скоплений в полостях и трещинах. Общая характеристика физико-химических свойств основных горизонтов лугового подбела приведена в работе [4].

С помощью РЭМ анализа было обнаружено, что во фракции средней пыли лугового подбела по всему профилю присутствуют остатки фитолитов и панцирей крупных диатомей. Другие кремнеземистые микробиоморфы (спикулы губок и раковинные амебы) в среднепылевой фракции и образцах почвы в целом обнаружены не были. При этом во фракции средней пыли дополнительно диагностированы опаловидный (минеральный) кремнезем кварцевых жеод и кварц.

Фитолиты лугового подбела по всему профилю представлены, главным образом, луговыми и лесными формами (табл., рис.). Действительно, на протяжении голоцена растительный покров исследуемой территории имеет бореальный характер с неморальными чертами. В его составе исключительную роль играют злаки (мятлик луговой, овсяница красная, пушица многоколосковая, но особенно вейник Лангсдорфа) и осока Шмидта, а также разнотравье [10, 12].

Обнаруженные фитолиты представляют собой кремнеземные кроющие клетки эпидермиса винтовой формы размером 4–10 $\times$ 30–50 мкм разной степени выветрелости. Самой высокой степенью выветрелости опаловидного кремнезема фитолитов характеризуется верхняя часть профиля и в ней гор ELn<sub>n</sub>,g (рис. б). Именно для этого горизонта характерна самая «агрессивная» среда (минимальные в профиле значения величины pH, переменный окислительно-восстановительный режим, фульвокислотный состав гумуса). Ниже по профилю сохранность фитолитов выше и она возрастает с глубиной. Это связано с ослаблением действия агрессивных факторов среды и, возможно, с частичной кристаллизацией опаловидного кремнезема фитолитов в нижних горизонтах почв [14]. В целом наши данные подтверждают выводы других авторов о том, что устойчивость фитолитов в том или ином горизонте почв зависит от его (горизонта) микробиологической и биохимической активности [3, 9].

Распределение основных групп фитолитов в профиле лугового подбела  
(в % на фиксированный объем пробы)

Table

Distribution of principal groups of phytoliths in the meadow podbel profile  
(in % to a fixed amount of sample)

Phytoliths groups	Horizon, depth, cm					
	Aug 0–14	ELnn,g 22–30	B1Tg 65–80	B2Tg 90–110	BCg 150–160	Cg > 220
Двудольные травы	46	57	48	44	54	37
Луговые злаки	32	21	14	15	8	8
Лесные злаки	32	19	27	29	32	38
Иглы хвойных	-	2	6	9	6	15
Полуболотные (тростник, камыш)	-	3	2	1	-	-
«Аридная» флора	-	-	<1	-	-	2
Неустановленная флора	-	3	1	2	-	-
Всего	171	788	586	188	50	52

Диатомовые водоросли обнаружены по всему профилю лугового подбела. При этом в гумусово-аккумулятивном гор. AUg (в образцах почвы

в целом) это были единичные недиагностируемые обломки панцирей диатомей размером до 10 мкм. В образцах средней пыли из этого же горизонта

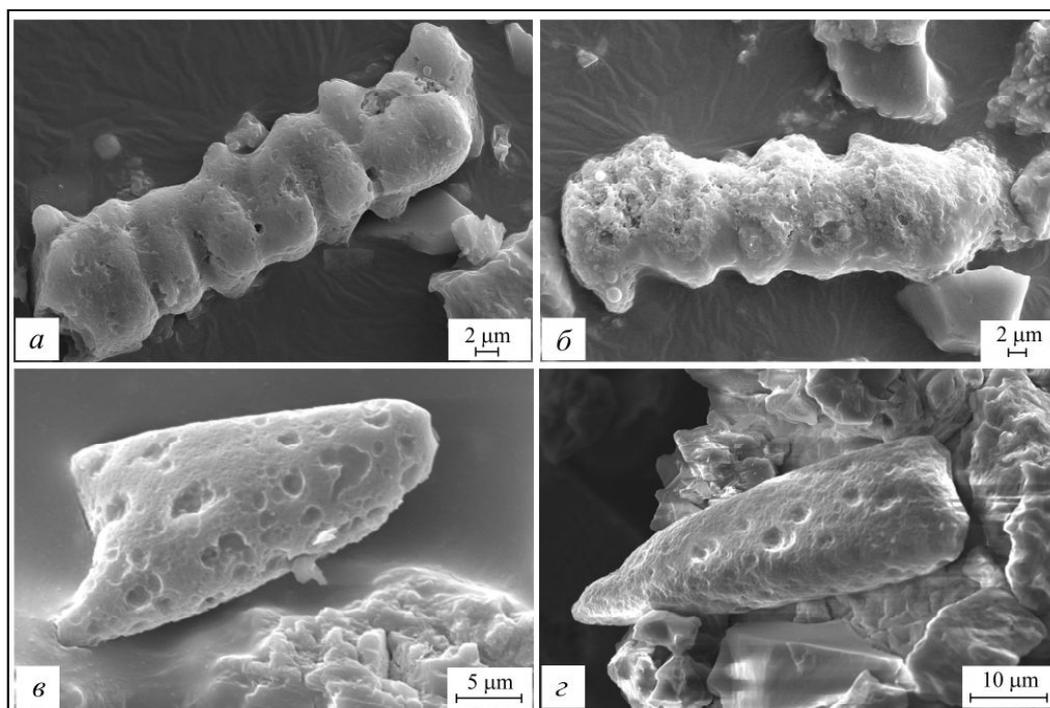


Рис. Микрофотографии фитолитов луговых (а, б) и лесных (в, г) злаков лугового подбела:  
а – горизонт AUg; б – горизонт ELnn,g; в – горизонт B1Tg; г – горизонт Cg (РЭМ)

Fig. Photomicrographs of meadow phytoliths (a, b) and forest (v, z) cereals of the meadow podbel:  
a – horizon AUg; б – horizon ELnn,g; в – horizon B1Tg; г – horizon Cg (SEM)

(AUg) диагностированы пеннатные диатомеи, представители рода *Nitzschia*, порядков *Achnanthes* или *Naviculales*, а также *Eunotia cf. praerupta* Ehr. [16]. Панцири частично разрушены, поэтому более четкая их диагностика затруднена. В нижней части профиля обнаружены многочисленные панцири диатомовых водорослей размером около ~ 2 мкм. По полусферической линзовидной форме диатомей и кольцевому расположению перфораций в периферической зоне предположительно наблюдается сходство со спорами *Cyclotella sp.* [5].

Ранее нами показано [13], что споры *Cyclotella sp.* в массовых количествах обнаруживаются и в других компонентах лугового подбела, например, илистой фракции (частицы <1–2 мкм), при этом в той части ила, которая легко пептизируется в воде. По-видимому, мелкоклеточные диатомеи, в отличие от крупных, подвержены водной миграции вниз по профилю вместе с частицами ила такого же размера. Поэтому в нижних горизонтах лугового подбела мы наблюдаем накопление как тонкодисперсного ила, так и мелкоклеточных диатомей (и их спор). Они же вместе с илом накапливаются и в так называемой «кремнеземистой присыпке», что имеет немаловажное значение при решении проблемы ее генезиса.

#### Выводы

1. С помощью методов фракционирования почвы, оптической и электронной микроскопии показано, что биогенный кремнезем лугового подбела (Среднеамурская низменность) представлен фитолитами и диатомовыми водорослями. Другие биоморфы кремнезема не найдены.

2. Основная часть фитоцитов имеет размеры фракции средней пыли (по Н.А. Качинскому) и унаследована по большей части от луговых растений местных фитоценозов, основу которых составляли злаки и разнотравье. Фитоциты в почвенном профиле подвержены процессам выветривания, в значительной степени в элювиально-глеевом горизонте с наиболее агрессивной геохимической обстановкой. Наибольшая сохранность фитоцитов отмечается в нижних горизонтах профиля.

3. Диатомовые водоросли в верхней части профиля лугового подбела представлены относительно крупными диатомеями – представителями родов *Nitzschia*, порядков *Achnanthes* или *Naviculales* и *Eunotia cf. praerupta* Ehr. В нижней части профиля преобладают мелкоклеточные диатомовые водоросли (предположительно споры *Cyclotella sp.*). Их присутствие в воднопептизируемом иле свидетельствует о подвижности, миграции вместе с илом вниз по профилю. Это объясняет

участие диатомовых водорослей и в составе кремнеземистой присыпки луговых почв.

4. Значение проведенного исследования заключается в возможности использования анализа микробиоморф кремнезема (их содержание, распределение в почве, особенности строения и генетическая принадлежность) для решения вопросов осадконакопления, почвообразования и реконструкции фитоценозов в прошлом.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во Москов. ун-та, 1970. 491 с.
2. Гольева А.А. Фитоциты и их информационная роль в изучении природных и археологических объектов. М.; Сыктывкар; Элиста: Ин-т геогр. РАН, 2001. 200 с.
3. Гольева А.А. Микробиоморфные комплексы природных и антропогенных ландшафтов: Генезис, география, информационная роль. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 240 с.
4. Гольева А.А., Матюшкина Л.А., Харитонов Г.В., Комарова В.С. Фитоциты в луговых почвах Среднеамурской низменности // Тихоокеанская геология. 2014. № 5. С. 101–109.
5. Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные) / отв.ред. И.В. Макарова. СПб.: Наука, 1992. Т. II, вып. 2. 125 с.
6. Зимовец Б.А. Почвенно-геохимические процессы муссонно-мерзлотных ландшафтов. М.: Наука, 1967. 167 с.
7. Иванов Г.И. Почвообразование на юге Дальнего Востока. М.: Наука, 1976. 200 с.
8. Ковда В.А., Зимовец Б.А., Амчиславская А.Г. О гидрогенной аккумуляции соединений кремнезема и полуторных окислов в почвах Приамурья // Почвоведение. 1958. № 5. С. 1–10.
9. Ковда В.А. Биогеохимия почвенного покрова. М.: Наука, 1985. 263 с.
10. Рубцова Т.А. Систематическая структура флоры Еврейской автономной области // Региональные проблемы. 2010. Т. 13, № 1. С. 49–52.
11. Страхов Н.М. Основы теории литогенеза. М.: Изд-во АН СССР. 1962. Т. II. 575 с.
12. Фрисман Е.Я., Капитонова Л.В., Поляков А.В. Родентофауна Среднеамурской низменности // Региональные проблемы. 2013. Т. 16, № 2. С. 47–53.
13. Чижикова Н.П., Харитонов Г.В., Матюшкина Л.А., Коновалова Н.С., Стенина А.С. Дифференциация слоистых силикатов и биогенного кремнезема в луговых подбелах Среднеамур-

- ской изменности // Почвоведение. 2013. № 8. С. 980–992.
14. Ярилова Е.А. О кристаллизации фитолитарий в почве // Доклады АН СССР. 1952. Т. LXXXIII. № 6. С. 911–912.
  15. Alexandre A., Meunier J.-D., Colin F., Koud J.-M. Plant impact on the biogeochemical cycle of silicon and related weathering processes // Geochim. Cosmochim. Acta. 1997. Vol. 61(3). P. 677–682.
  16. Brzezinski M.A. Mining the diatom genome for the mechanism of biosilification // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2008. Vol. 105. № 5. P. 1391–1392.
  17. Drees L.R., Wilding L.P., Smeck N.E., Senkayl A.L. Silica in soils: quartz, and disordered silica polymorphs // Dixon J.B., Weed S.B. (Eds.) Minerals in Soil Environments, second ed. 1989. Soil Science Society of America, Madison, WI. P. 471–552.
  18. Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae. 3: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae // Süßwasserflora von Mitteleuropa. 1991: Stuttgart–Jena. Bd. 2/3. 563 p.
  19. Monger, H.C., Kelly E.F. Silica minerals // Soil mineralogy with environmental applications (Eds. J. B. Dixon and D. G. Schulze). Soil Science Society of America, Madison, WI. 2002. P. 611–636.
  20. Parr J.F., Sullivan L.A. Soil carbon sequestration in phytoliths // Soil Biology and Biochemistry. 2005. Vol. 37. P. 117–224.

## FORMS OF BIOGENIC SILICA IN MEADOW SOILS OF THE MIDDLE AMUR LOWLAND

L.A. Matiushkina, A.A. Golyeva, A.S. Stenina, G.V. Kharitonova

*With the use of modern experimental techniques, the authors have obtained new information about the presence of biogenic silica forms in the meadow soil of the Middle Amur Lowland, represented by remnants of phytoliths and shells of diatoms. It is revealed the features of phytoliths and diatoms redistribution in the soil body, and their belonging to a certain biocenosis. Meadow phytoliths forms prevail in the soil profile. Diatoms are represented by small celled species (supposedly, spores of *Cyclotella* sp.), as well as by large forms of the *Nitzschia* and *Eunotia* genus.*

**Keywords:** meadow podbel, the Middle Amur Lowland, biomorphic silica, phytoliths, diatoms.