

УДК 631.4

## Транслокация фитоцитов в почве

### Translocation of phytolith in soil

Гаврилов Д. А.

Gavrilov D. A.

ФГБУН «Институт почвоведения и агрохимии СО РАН», г. Новосибирск, Россия. E-mail: gavrilov@issa-siberia.ru

*Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, Novosibirsk, Russia*

**Реферат.** На примере фитоцитных профилей тяжелосуглинистых лесных почв, расположенных в разных элементах катены, показана возможность транслокации фитоцитов вниз по профилю. В качестве маркера для фиксации факта транслокации использовано УМС-датирование углерода фитоцитов (PhytOC).

**Summary.** The possibility of translocation of phytoliths down the profile is shown on the example of phytolith profiles of heavy loam forest soils located in different elements of the catena. ANS-dating of phytolith carbon (PhytOC) was used as a marker for fixing the fact of translocation.

#### Введение

Фитоциты представляют собой аморфные силикатные минералы, образованные в клетках растений. Благодаря своеобразной морфологии и возможности определения по ним растений на уровне семейства, в редких случаях рода, фитоциты широко используются при реконструкции палеоприродной среды (Piperno, 1988; Solís-Castillo et al., 2015; Zuo et al., 2016 и др.).

В процессе разложения растительного вещества фитоциты попадают в почву и становятся частью ее минерального компонента и часто при микроморфологических исследованиях определяются как биолиты или биогенный опал. Одновременно с почвообразованием идет процесс формирования фитоцитного профиля, который наряду с другими частными профилями (гумусовым, карбонатным, текстурным и др.) записывает в своих характеристиках изменения среды, факторов почвообразования или антропогенное воздействие (Гольева, 2001). При изменении условий почвообразования и характеристик фитоценоза происходит постепенное замещение одного фитоцитного профиля на другой, но общая стратиграфическая закономерность записи этих явлений остается в характеристиках фитоцитного профиля: более нижние образцы древнее, чем те, что расположенные ближе к дневной поверхности. Изменение фитоцитных профилей во времени в нативных условиях практически не изучен. Благодаря силикатному составу фитоциты довольно устойчивы (Abrantes, 2003; Prasad et al., 2005; Dunn et al., 2015), но их профильное распределение, возможно, подвергается изменению, что должно учитываться при построении палеоэкологических реконструкций.

Лабораторные и полевые исследования О. Fishkis с соавторами (2009, 2011) подтвердили возможность передислокации фитоцитов в песчаных осадках и почвах суглинистого гранулометрического состава (Haplic Cambisol и Stagnic Luvisol). Широко признается возможность перемещения фитоцитов по профилю при биотурбации (Hart and Humphreys, 1997; Runge, 1999; Humphreys et al., 2003; Farmer et al., 2005). Исследователями часто отмечается ограничение фитоцитного метода при изучении почв легкого гранулометрического состава и возможность широкого его применения в почвах суглинистого и глинистого гранулометрического состава (Гольева, 2001). Для аргументации своей позиции утверждается, что использование фитоцитов размерностью более 5  $\mu\text{m}$  в пылевой фракции (0,05–0,001 мм) ограничивает возможность их передвижения по профилю (Гольева, 2001).

Основным фактором, который может способствовать перераспределению фитоцитов по профилю, является промывной режим почвы, который также определяет своеобразие строения почв гумид-

ной зоны. Поэтому при изучении фитолитных профилей лесных почв необходима оценка возможной передислокации фитолитов по профилю.

Типичными почвами юга лесной зоны (южно-таёжная подзона) Европейской территории России и Сибири являются дерново-подзолитые почвы. Эти почвы часто имеют полигенетичное строение органофилия, что объясняется сохранением реликтовых признаков среднеголоценовой темнугумусовой стадии почвообразования (высокая гумусированность, различие качественного состава гумуса между современным и вторыми гумусовыми горизонтами, наличие кротовин) (Добровольский и др., 1969; Уфимцева, 1974; Гаврилов, 2016; и др.).

В этих почвах проявление текстурной дифференциации и сохранение признаков темно-гумусового почвообразования (уменьшение мощности второго гумусового горизонта, его окраска и простираание, структуры внутриведной массы и другие свойства) определяются положением почв в рельефе. Полигенетичные дерново-подзолитые почвы, расположенные по катене, являются гетерогенными и относительно синхронными по происхождению, что подразумевает их коэволюцию. Подобный ряд является одним из наиболее удачных моделей по изучению транслокации фитолитов при изменении типов почвообразования и преобразовании фитолитных профилей в текстурно-дифференцированных почвах.

Цель исследования заключается в попытке выявить процесс перемещения фитолитов в дерново-позолистых почвах в зависимости от положения почв на катене и их текстурной дифференциации.

### Методы исследования

При фитолитном анализе производился подсчет суммы фитолитов на площадь покровного стекла (24 x 24 мм), процентное отношение к сумме доли корродированных форм и экологических групп фитолитов, следуя методике А. А. Гольевой (2011).

Для оценки транслокации фитолитов под действием лесного почвообразования (текстурная дифференциация, подзолообразование) было применено датирование углерода фитолитов (PhytOC) методом ускорительной масс-спектрометрии (УМС) (Центр коллективного пользования «Геохронология кайнозоя», г. Новосибирск; Центр прикладных изотопных исследований Университета штата Джорджии, г. Афины, США).

Образцы были отобраны у верхней и нижней частей границ горизонтов El, El[hh] и AU[hh] мощностью один сантиметр в каждом разрезе. При пробоотборе были исключены места с явными признаками биотурбаций, а для возможных морфологически не выраженных биотурбаций шаг в отборе 5 см был взят за стандарт, который позволяет уменьшить возможность отбора нарушенного образца.

Подготовка фитолитов для УМС датирования была проведена согласно модифицированной методике X. Zuo с соавторами (Zuo et. al., 2016) с получением графита, в котором на CAIS 0.5 MeV ускорителе было измерено содержание  $^{14}\text{C}$  изотопа. Калибровка радиоуглеродных дат производилась в программе OxCal v4.3 (Bronk Ramsey, 1995) на основе калибровочной кривой IntCal 13.

Для построения модели изменения радиоуглеродного возраста PhytOC с глубиной была использована возрастная модель (age-depth model) в программе OxCal (Bronk Ramsey, 2009), традиционно применяемая для моделирования роста торфяных залежей. Данная модель была взята за основу, так как позволяет построить радиоуглеродный профиль почвы (или отложений) в условиях ненарушенности профиля и аккумулятивного поступления органического углерода (органосодержащих материалов).

### Результаты и обсуждение

По результатам УМС-датирования образцы вторых гумусовых горизонтов почв в элювиальной и транзитной позиции, взятые у нижней границы горизонтов, дали относительно близкий возраст – 5220–5321 гг. до н.э. (медиана 5270 до н.э.) и 5710–5844 до н.э. (медиана 5777 до н.э.) (рис.). Согласно модели возраста на глубине 30 см возраст углерода во вторых гумусовых горизонтах имеет одинаковые значения ( $\approx 5500$  г. до н.э.).

В образцах элювиального горизонта почвы элювиальной и транзитной позиций радиоуглеродные даты PhytOC – 2151–1903 гг. до н.э. (медиана 2026 гг. до н.э.) и 4042–3936 гг. до н.э. (медиана 3989 гг. до н.э.) соответственно. Разница между датами достигает почти 2000 лет.

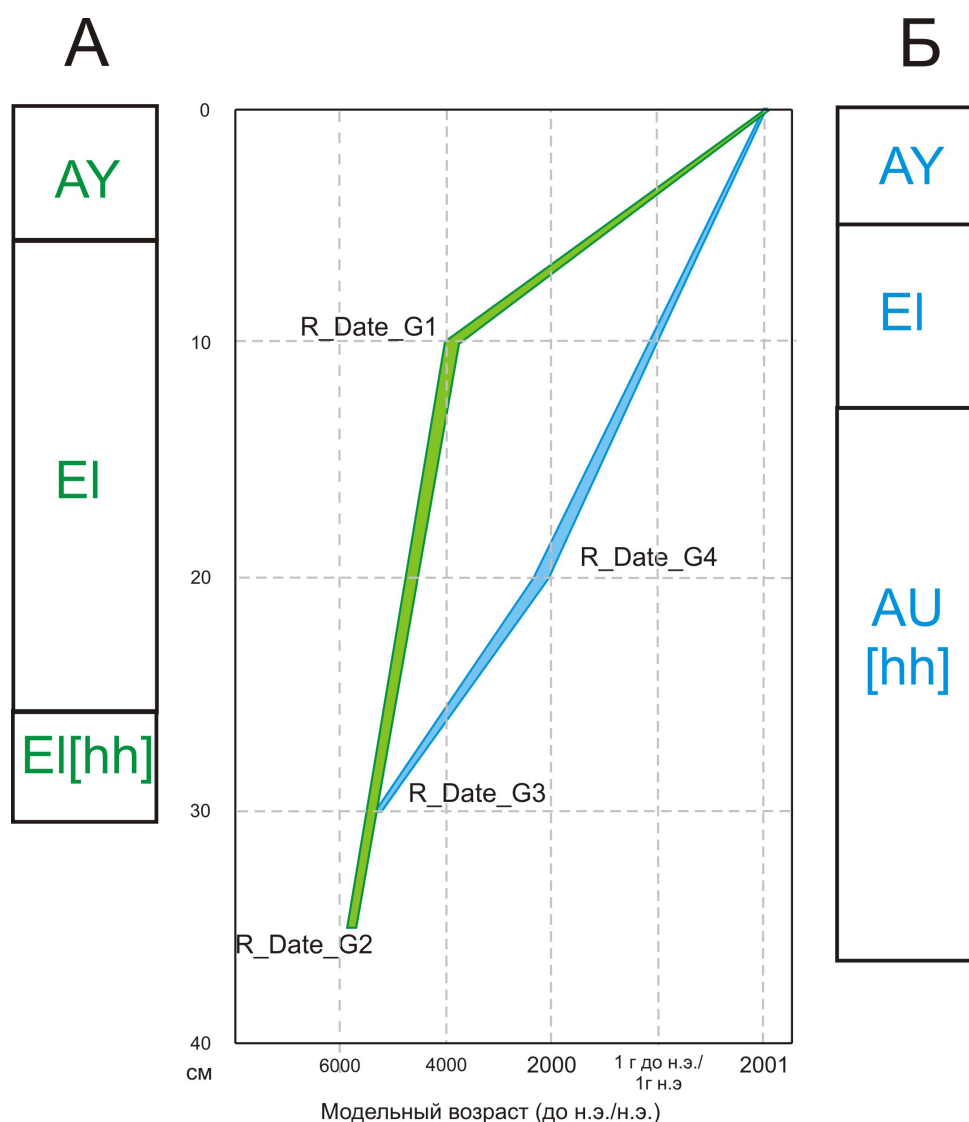


Рис. Модельный возраст углерода концентратов фитолитов ( $\pm 2\sigma$ ) элювиальных и вторых гумусовых горизонтов почв. Условные обозначения: Дерново-подзолистые почвы: А – мелкоподзолистая (Эль-позиция), Б – неглубокоподзолистая (Транс-позиция). Горизонты: АУ – светло-серые гумусовый горизонт, ЕI – элювиальный горизонт, ЕI[hh] и АU[hh] – второй гумусовый горизонт.

Распределение возраста углерода фитолитов по профилю в обеих почвах подтверждает общий процесс омоложения углерода. Но скорость омоложения в почвах в разных элементах катены неодинакова. Согласно сравнению радиоуглеродной и модельной дат в элювиальной позиции, скорость омоложения углерода фитолитов элювиального горизонта на глубина 10 см в два раза выше, чем в транзитной.

Сравнение модельных радиоуглеродных почвенных профилей и распределения корродированных фитолитов в гумусово-элювиальной части почв показало (табл., рис.), что процесс омоложения фитолитного комплекса происходит за счет транслокации новых порций фитолитов, а не внедрения более молодого почвенного углерода в состав фитолитов при их растворении в агрессивных почвенных условиях. Кроме того, увеличение относительной концентрации фитолитов в горизонте ЕI на глубине 20–30 см в почве элювиальной позиции по сравнению с горизонтами ЕI[hh] и АU[hh] на той же глубине в транзитной позиции доказывает их транслокацию вниз по профилю.

Таблица

Распределение основных групп фитолитов в профилях дерново-подзолистых почв со вторым гумусовым горизонтом (%)

Горизонт, см	Образец	Двудольные травы	Экологические группы злаков				Хвойные	Мхи	Корродированные	Всего (шт.)
			Лесные	Луговые	Степные	Полуболотные (Тростник)				
<i>Эль-позиция</i>										
АУ 7-13	306	85	11	3	0	0	0	0	0	100
	305	58	11	27	0	0	3	0	8	886
	304	51	10	36	0	0	2	0	12	1155
ЕI 13-30	303	49	8	41	0	0	1	0	24	1566
	302	38	12	47	0	0	3	0	25	1978
	301	37	8	48	0	0	5	0	25	1714
ЕI[hh] 30-40	300	52	24	21	<1	0	3	0	41	143
	299	38	11	45	<1	0	5	0	43	380
<i>Транзитная позиция</i>										
АУ 6-13	263	50	13	23	4	4	3	4	-	110
ЕI 13-24	262	16	18	47	7	2	8	7	32	669
	261	41	10	43	1	2	2	1	5	1244
АУ[hh] 24-42	260	33	13	49	1	4	2	1	51	1163
	259	29	14	54	0	12	3	0	57	824
	258	37	13	46	0	0	2	0	18	1148
	257	50	22	24	0	0	2	0	-	156

### Заключение

Фитолитные комплексы и радиоуглеродный возраст концентратов фитолитов (PhytOC) в лесных почвах тяжелого гранулометрического состава изменяются во времени, но скорость и глубина проникновения новых порций фитолитов, омолаживающих PhytOC, определяется интенсивностью текстурной дифференциации и степенью промачивания почвенного профиля на разных элементах катены. Наибольшее изменение фитолитных профилей и омоложение углерода фитолитов выявлено для почвы в элювиальной позиции, а наименьшее – в транзитной.

Несмотря на процесс омоложения углерода фитолитов, фитолитные профили почв относительно слабо преобразованы, на что указывают довольно близкие их характеристики (соотношение групп, распределение фитолитов по профилю).

Таким образом, фитолитный анализ лесных почв рекомендуется проводить в комплексе с морфолого-генетическим анализом почв и катенарным методом, что позволяет глубже понять формирование фитолитного профиля и оценить изменение во времени свойств фитолитных профилей и его относительную скорость в зависимости от положения почв в рельефе.

**Благодарности.** Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 16-34-00325).

### ЛИТЕРАТУРА

- Гаврилов Д. А.* Генезис Второго гумусового горизонта почв Васюганской наклонной равнины // Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева, 2016. – № 85. – С. 3–19. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2016-85-5-19>
- Гольева А. А.* Фитолиты и их информационная роль в изучении природных и археологических объектов. – М.–Сыктывкар–Элиста, 2001. – 140 с.
- Добровольский Г. В., Афанасьева Т. В., Василенко В. И., Ремезова Г. Л.* О генезисе и географии почв Томского Приобья // Почвоведение, 1969. – № 10. – С. 3–12.

- Уфимцева К. А.** Почвы южной части таежной зоны Западно-Сибирской равнины. – М.: Колос, 1974. – 203 с.
- Abrantes F.** A 340,000 year continental climate record from tropical Africa – News from opal phytoliths from the equatorial Atlantic // *Earth and Planetary Science Letters*. – April 2003. P.165-179 [https://doi.org/10.1016/S0012-821X\(03\)00039-6](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(03)00039-6)
- Bronk Ramsey C.** Radiocarbon calibration and analysis of stratigraphy: The OxCal program // *Radiocarbon*, 1995. – Vol.7, №2. – P. 425–430.
- Bronk Ramsey C.** Bayesian analysis of radiocarbon dates // *Radiocarbon*, 2009. – Vol. 51, №1. – P. 337–360.
- Dunn Regan E., Strömberg C. A. E., Madden R. H., Kohn Matthew J., Carlini A.** A Linked canopy, climate, and faunal change in the Cenozoic of Patagonia // *Science* 18, 2015. – Vol. 347 (6219). – P.258–261. <https://doi.org/10.1126/science.1260947>
- Farmer V. C., Delbos E., Miller J. D.** The role of phytolith formation and dissolution in controlling concentrations of silica in soil solutions and streams // *Geoderma*, 2005. – Vol. 127, №1–2. – P.71–79.
- Fishkis O., Ingwersen J., Lamers M., Denysenko D., Streck T.** Phytolith transport in soil: A field study using fluorescent labeling // *Geoderma*, 2010. – Vol. 157. –P.27–36. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.03.012>
- Fishkis O., Ingwersen J., Streck T.** Phytolith transport in sandy sediment: experiments and modelling // *Geoderma*, 2009. – №151. – P.168–178.
- Fishkis O., Ingwersen J., Lamers M., Denysenko D., Streck T.** Phytolith transport in soil: A field study using fluorescent labeling // *Geoderma*. 2010 – №157. P.27–36. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.03.012>
- Hart D. M., Humphreys G. S.** The mobility of phytoliths in soils; pedological considerations // First European meeting on phytolith research «The State-of-the-art of Phytoliths in Soils and Plants». – Madrid, 1997. – P. 93–100.
- Humphreys G. S., Hart D. M., Simons N. A., Field R. J.** Phytoliths as indicator of process in soils // *Papers from a Conference held at the ANU. (August 2001, Canberra, Australia). Phytolith and Starch Research in the Australian–Pacific–Asian Regions. – The State of the Art: Terra australis*, 2003. – P. 93–104.
- Piperno D. R.** *Phytolith Analysis: an Archaeological and Geological Perspective.* – San Diego: Academic Press, 1988. – 280 p.
- Prasad V., Strömberg C. A., Alimohammadian H., Sahni A.** Dinosaur coprolites and the early evolution of grasses and grazers // *Science* 18, 2005 – Vol. 310(5751). – P. 1177–1180. <https://doi.org/10.1126/science.1118806>
- Runge F.** The opal phytolith inventory of soils in central Africa – quantities, shapes, classification, and spectra // *Review of Palaeobotany and Palynology*, 1999. – №107. – P. 23–53.
- Solis-Castillo B., López-Rivera S., Golyeva A., Sedov S., Solleiro-Rebolledo E.** Phytoliths, stable carbon isotopes and micromorphology of a buried alluvial soil in Southern Mexico: A polychronous record of environmental change during Middle Holocene // *Quaternary International*, 2015 – Vol. 365. – P.150–158.
- Zuo X., Lu H., Zhang J., Wang C., Sun G., and Zheng Y.** Radiocarbon dating of prehistoric phytoliths: a preliminary study of archaeological sites in China. // *Scientific Reports*, 2016 – Vol.6 (26769). <https://doi.org/10.1038/srep26769>