

**ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИЕ ПИГМЕНТЫ
В ТОРФЯНЫХ ГОЛОЦЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ НИЖНЕГО ПРИАМУРЬЯ**

М.А. Климин, С.Е. Сиротский

*Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, ул. Ким-Ю-Чена, 65,
Хабаровск, 680000, Россия. E-mail: m_klimin@bk.ru, sirotsky@ivep.as.khb.ru*

Изучен качественный и количественный состав сохранившихся фотосинтетических пигментов в торфяных отложениях различного генезиса Нижнего Приамурья. Показаны широкие информационные возможности пигментных комплексов, формирующих пигментный профиль торфяника для решения некоторых проблемных вопросов палеогеографии.

**FOTOSYNTHETIC PIGMENTS
IN HOLOCENE PEAT DEPOSITS OF THE LOWER AMUR AREA**

M.A. Klimin, S.E. Sirotsky

*Institute of Water and Ecology Problems, FEB RAS, 65 Kim-Yu-Chen Str.,
Khabarovsk, 680000, Russia. E-mail: m_klimin@bk.ru, sirotsky@ivep.as.khb.ru*

A quantitative and qualitative composition of photosynthetic pigments preserved in peat deposits of different genesis in the Lower Amur area was studied. This article shows broad data capabilities of pigment complexes forming a pigment profile of the peatlands to solve some problems of paleogeography.

При изучении современной и палеопродуктивности различных водных объектов важное место уделяется анализу качественного и количественного содержания в воде и донных отложениях растительных пигментов (Harris et al., 1996; Сигарева, 2010; Сигарева и др., 2013). Некоторыми исследователями эти данные положены в основу заключений об истории функционирования водоемов и изменениях климата (Kowalewska, 2001; Захарков и др., 2007). Для подтверждения полученных выводов иногда делались попытки их сопоставления с данными изучения близких по природе объектов – болот, которые, также как и сапропели, являются «природными летописями». Например, во второй половине прошлого века польские специалисты предложили методику определения «неактивного хлорофилла» в отложениях озер и сравнили эти результаты с характеристиками спорово-пыльцевого состава разреза торфяника, окружающего озеро (Чечуга, 1973). Было выяснено, что большое количество неактивного хлорофилла и органического вещества в сапропеле соответствует более продуктивному периоду развития водоема, и наоборот, малое содержание в озерных отложениях этих компонентов свидетельствует о малопродуктивном характере развития.

Тем не менее, в подавляющем большинстве работ до настоящего времени используется не полный набор пигментов, который возможно определить с помощью обычно применяемой для этих целей методики (ГОСТ 17.1.4.02-90), а лишь хлорофилл а и его производные – феопигменты. Вопрос же о том, что может дать определение сохранившихся

фотосинтетических пигментов непосредственно в торфяных отложениях, до конца прошлого века вообще не рассматривался.

Нами изначально была поставлена задача послойного изучения наиболее широкого спектра фотосинтетических пигментов, способных сохраняться в озерных и болотных отложениях. При этом, учитывая методологические подходы А.А. Гольевой (2008), совокупность определяемых пигментов (хлорофиллы *a*, *b*, *c*, и общие каротиноиды) в конкретном слое отложений рассматривается как *пигментный комплекс*. Последовательная же вертикальная смена пигментных комплексов *слагает пигментный профиль* упомянутых объектов.

Целью данной работы является оценка информационных и практических возможностей пигментных комплексов и пигментных профилей торфяных отложений.

Объектами исследований послужили торфяные отложения различного генезиса, сформировавшиеся в голоцене на территории Нижнего Приамурья. Их изучение проводилось на разных болотных массивах, где после площадного зондирования в месте максимальной мощности органогенного слоя закладывался разрез или бурилась скважина. На двух наиболее представительных торфяниках – Гурском (торфяник низинного типа, возраст более 12 тыс. лет, Амурский район Хабаровского края) и Тяпкинском (торфяник верхового типа, возраст 10 тыс. лет, Николаевский район Хабаровского края) в разные годы закладывались полнопрофильные разрезы для исследования состава пигментов. Пигментные профили этих разрезов сравнивались с таковыми наиболее полно изученных опорных разрезов на этих массивах, в которых, кроме пигментов, были определены состав спор и пыльцы, а также получены серии радиоуглеродных датировок. Методика отбора образцов, их подготовка и ход анализа описаны ранее (Климин, Сиротский, 2005).

Водно-ацетоновые вытяжки всех изученных образцов торфа показали спектры поглощения четырех видов (Климин и др., 2013). При этом каждому из различных по генезису (низинный, переходный, верховой) торфов соответствует свой вид кривой спектра поглощения. Четвертый вид кривой отвечает торфам с высокой экстинкцией водно-ацетонной вытяжки на длине волны 750 нм. Установлено, что они образовывались в прохладных и влажных (вплоть до длительного стояния вод выше поверхности болота) условиях, в которых получали развитие зеленые фотосинтезирующие бактерии. Жизнедеятельность последних обусловила присутствие в этих слоях торфа бактериохлорофиллов *c* и *d*, максимумы поглощения которых лежат в области 720–760 нм (Серебренникова, 1988).

При расчетах содержания пигментов, предусмотренных методикой, в таких образцах торфа зачастую «отсутствуют» хлорофиллы *b* и *c*, а иногда, при наиболее высоких максимумах поглощения бактериохлорофиллов, и хлорофилл *a*. Естественно, что система пигментов торфа, состоящего из недоразложившихся растительных остатков, не может быть представлена одними каротиноидами. Вероятно, для более правильных расчетов в таких случаях следует вычитать из всех значений экстинкций значения на длине волны 800 или 830, а не 750 нм. Также было бы полезно рассчитывать количество бактериохлорофиллов, поскольку оно, возможно, определенным образом связано с длительностью и глубиной похолоданий.

Анализ состава спор и пыльцы в детально датированном опорном разрезе, заложенном на Гурском торфянике (Климин и др., 2005), позволил выявить похолодания и потепления, которые характеризовались различным поведением кривых пыльцы дуба, с одной стороны, и пыльцы ильма, кустарниковой березки и спор сфагновых мхов, – с другой. Это дало ключ к пониманию информации, содержащейся в пигментном профиле данного разреза (Климин, Сиротский, 2005). Оказалось, что пигментный профиль отражает колебания климата, причем увеличение количества и разнообразия сохранившихся пигментов соответствует потеплениям, а уменьшение – похолоданиям. Чрезвычайно важной характеристикой пигментных комплексов является относительное содержание хлорофилла *a*. Если его доля заметно увеличивается, то даже при увеличении общего содержания

пигментов данный пигментный комплекс индицирует похолодание. Заметим, что в этой повышенной значимости хлорофилла *a* имеется определенная связь между торфяными отложениями и объектами гидробиологии, для которых и разрабатывалась данная методика.

На первый взгляд, возникает парадокс: во время потепления, когда торф разлагается сильнее, пигменты должны разрушаться в большей степени, а они накапливаются. Вероятно, механизм сохранения пигментов в торфяной залежи – сложный процесс, зависящий от некоторых свойств торфа. Важнейшим из них видится защитная функция липидной фракции (воска и смолы), в кислых условиях торфяного болота способной накапливаться (Лиштван, Король, 1975) и обволакивать микрочастицы торфа, делая их мало доступными для микробной утилизации. В пользу этого объяснения можно привести установленные разными исследователями факты, касающиеся особенностей болот Приамурья. К ним относятся высокая степень разложения (Нейштадт, 1957), повышенная кислотность низинных торфов, близкая к кислотности торфов переходного типа европейской части России (Прозоров, 1985), а также значительное содержание липидной фракции в торфах низинного типа (Чаков, Климин, 1996), приближающееся к таковому в торфах верхового типа Европы. Поэтому чем более разложен торф, тем выше содержание в нем липидной фракции и больше возможностей для сохранения пигментов и их производных.

Пигментные профили других разрезов, заложенных на Гурском болотном массиве, имеют значительное сходство с пигментным профилем опорного разреза. Данное обстоятельство позволило без особых проблем идентифицировать в них слои, образовавшиеся в конце позднего плейстоцена и в различные периоды голоцена, т.е. провести корреляцию разрезов. Также появилась возможность с высокой степенью достоверности переносить радиоуглеродные датировки из одного разреза на сходные слои в других разрезах.

Тем не менее, мощность образовавшихся за одни и те же промежутки времени слоев в разных разрезах варьировала, и иногда весьма значительно (Климин и др., 2007). Например, диапазон мощности слоев, образовавшихся в аллереде, составляет 6–96 см, в дриасе-3 – 10–55 см, что связано с приуроченностью одних разрезов к центральной, а других – к краевой части первичного очага заболачивания – углубления в поверхности минерального ложа болотного массива.

Диапазон мощности собственно голоценовых слоев был заметно меньше (в пребореальном периоде 30–50 см, в бореальном и атлантическом 40–55 см), поскольку они формировались на уже выровненной поверхности, после заполнения торфом очага заболачивания, однако и в этих случаях разница достигает 15–20 см. Основными причинами наблюдаемой укороченности слоев являются перерывы в торфонакоплении, а также различия в прошлом скорости прироста торфа на разных элементах микрорельефа поверхности болота (кочки, мочажины).

В итоге выяснилось, что ни один из более чем 15 разрезов, заложенных на Гурском болотном массиве, не является полным в смысле природной летописи. Поэтому изучение состава спор и пыльцы в любом из них неизбежно будет нести в себе определенные ошибки, которые обусловят в дальнейшем не совсем корректные выводы о климатических колебаниях и истории развития растительности в позднем плейстоцене-голоцене на этой территории.

Сравнение пигментных профилей разрезов позволило выявить наиболее представительные слои отложений, относящиеся к различным периодам голоцена, а также к доголоценовому времени. Из них была сформирована коллекция образцов, отражающая наиболее «полный» разрез, максимально освобожденный от влияния перерывов в торфонакоплении. При варьировании мощности заложенных разрезов от 280 до 394 см мощность сборного разреза превышает 5 метров. Проведение комплексного изучения этого разреза позволит получить наиболее адекватное представление об изменениях природной среды Нижнего Приамурья за последние 12 тыс. лет.

Необходимо отметить, что в процессе сравнения разновозрастных слоев отложений из разных разрезов (в виде отрезков пигментных профилей) появляется возможность идентификации перерывов в торфонакоплении с оценкой их длительности. Образно говоря, прерывистость накопления торфа иногда видна невооруженным глазом.

Пигментные профили некоторых разрезов торфяных отложений низинного и переходного типов, заложенных на других болотных массивах Нижнего Приамурья, имеют определенное сходство с пигментными профилями разрезов на Гурском торфянике. Это позволяет в ряде случаев проводить корреляцию разрезов и переносить радиоуглеродные датировки. Естественно, имеются и разрезы с отличающимися пигментными профилями. Возможно, при детальном обследовании массивов, на которых они расположены, в дополнительно изученных разрезах сходство будет выявлено.

Разрезы, заложенные на торфяниках верхового типа, демонстрируют сходный с Гурскими разрезами характер пигментного профиля лишь в нижней части своих отложений, где залегают торф низинного и переходного типов. При переходе к торфу верхового типа сходство утрачивается, что, вероятно, связано со спецификой торфообразования и торфонакопления, характерной для этих объектов – быстрый прирост слабо разложившегося торфа с формированием сильно разложившихся прослоев в виде системы «поверхностей возвратного развития», впервые выделенных Е. Гранлундом (Granlund, 1932, цит. по: Хотинский, 1977) для болот Швеции. Тем не менее пигментные профили разрезов торфяных отложений верхового типа на болотном массиве у р. Тяпка также показали заметные отличия друг от друга. Вызвано это не только теми же причинами, что и на Гурском торфянике – перерывами в торфонакоплении, различной скоростью прироста торфа, но и местным природным феноменом – наличием на массиве мерзлого торфяного бугра.

Таким образом, изучение сохранившихся в торфяных отложениях фотосинтетических пигментов является хорошим дополнением к комплексу споро-пыльцевого и радиоуглеродного определений – классическим методам выявления изменений природной среды в голоцене. Особенно важным преимуществом этого направления исследований является высокая степень объективности и быстрота получения результатов.

Выводы

Информационная и практическая значимость, которую несут в себе пигментные комплексы и пигментные профили торфяных отложений, делают возможным решение следующих задач:

1. Индикация прохладных и влажных условий во время образования отдельных слоев торфа.
2. Быстрая корреляция разрезов в пределах одного массива и на разных массивах.
3. Перенос радиоуглеродных датировок из одного разреза в другие.
4. Выявление мест и длительности перерывов в торфонакоплении в разрезах.
5. Создание наиболее полного разреза, максимально освобожденного от влияния перерывов в торфонакоплении.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта ДВО РАН 12-III-A-09-193.

ЛИТЕРАТУРА

- Гольева А.А. 2008.** Микробиоморфные комплексы природных и антропогенных ландшафтов: Генезис, география, информационная роль. М.: Изд-во ЛКИ. 240 с.
- ГОСТ 17.1.4.02-90. 1999.** Вода. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла *a*. М.: ИПК Изд-во стандартов. 12 с.
- Захарков С.П., Босин А.А., Горбаренко С.А. 2007.** Содержание хлорина в морских осадках как индикатор палеопродуктивности // Вестник ДВО РАН. № 1. С. 52–58.

- Климин М.А., Базарова В.Б., Мохова Л.М., Кузьмин Я.В., Орлова Л.А. 2005.** Стратиграфия и хронология озерно-болотных отложений Гурского торфяного месторождения (Нижнее Приамурье, Россия) // Доклады международного APN-START симпозиума по изучению глобальных изменений в Северо-Восточной Азии, Владивосток, 7–8 октября 2002 г. Владивосток: Дальнаука. С. 46–57.
- Климин М.А., Сиротский С.Е. 2005.** Распределение фотосинтетических пигментов в профиле торфяных отложений как отражение колебаний климата в голоцене // Биогеохимические и геоэкологические процессы в экосистемах. Вып. 15. Владивосток: Дальнаука. С. 237–248.
- Климин М.А., Орлова Л.А., Базарова В.Б. 2007.** Искажения радиоуглеродных датировок в торфяных отложениях: одна из причин // Изучение глобальных изменений на Дальнем Востоке. Владивосток: Дальнаука. С. 46–50.
- Климин М.А., Сиротский С.Е., Копотева Т.А. 2013.** Пигментные характеристики торфяных отложений различного генезиса Нижнего Приамурья // Биогеохимия и гидроэкология наземных и водных экосистем. Вып. 20. Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН. С. 157–166.
- Лиштван И.И., Король Н.Т. 1975.** Основные свойства торфа и методы их определения. Минск: Наука и техника. 320 с.
- Нейштадт М.И. 1957.** История лесов и палеогеография СССР в голоцене. М.: Наука. 404 с.
- Прозоров Ю.С. 1985.** Закономерности развития, классификация и использование болотных биогеоценозов. М.: Наука. 207 с.
- Серебренникова О.В. 1988.** Эволюция тетрапиррольных пигментов в осадочных отложениях. Новосибирск: Наука. 141 с.
- Сигарева Л.Е. 2010.** Содержание хлорофилла в воде и донных отложениях Рыбинского водохранилища // Биология внутренних вод. № 3. С. 38–46.
- Сигарева Л.Е., Законнов В.В., Тимофеева Н.А., Касьянова В.В. 2013.** Осадочные пигменты и скорость илонакопления как показатели трофического состояния Рыбинского водохранилища // Водные ресурсы. Т. 40, № 1. С. 62–69.
- Хотинский Н.А. 1977.** Голоцен Северной Евразии. М.: Наука. 200 с.
- Чаков В.В., Климин М.А. 1996.** Эволюция болот Среднеамурской низменности и трансформация состава органического вещества торфа // Биогеохимические и экологические исследования природных и техногенных экосистем Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука. С. 126–134.
- Чечуга Б. 1973.** Попытка установления истории озер на основании пыльцевого анализа растительных остатков, органического вещества и неактивного хлорофилла // Палинология голоцена и маринопалинология (Труды III Международной палинологической конференции). М.: Наука. С. 40–43.
- Harris P.G., Zhao M., Rosell-Mele A. et al. 1996.** Chlorin accumulation rate as a proxy for Quaternary marine primary productivity // Nature. V. 383. P. 63–65.
- Kowalewska G. 2001.** Algal pigments in Baltic sediments as markers of ecosystem and climate changes // Climate Research. V. 18, № 1–2. P. 89–96.