

УДК 551.781.5:561.232

**Д.В. МАЧАЛЬСКИЙ**

Тематическая партия ДП НАК «Надра Украины» «Захидукргеология»,  
пл. Мицкевича, 8, Львов-центр 79035, Украина

e-mail: dijumast@ukr.net

### **СУАНОРНУТА (СУАНОПРОКАРЮТА) В БИТУМИНОЗНЫХ КРЕМНЯХ ОЛИГОЦЕНА УКРАИНСКИХ КАРПАТ**

Выявлены породообразующие остатки *Cyanophyta* в породах олигоцена Украинских Карпат. Представители *Hormogoniophyceae* населяли терригенные и вулканогенные породы, из них *Oscillatoriaceae* образовывали кремнистые цианобактериальные маты. Особенности развития организмов и тип органогенных пород зависели от состава донных флюидов.

Ключевые слова: Карпаты, олигоцен, *Hormogoniophyceae*, *Oscillatoriaceae*, цианобактериальные маты, донные флюиды.

#### **Введение**

Геологи долгое время всерьез не воспринимали возможность обнаружения остатков бактерий в породах. Работы таких энтузиастов, как Г.А. Заварзин (1972) и В.И. Лазуренко (1989), несмотря на системные доказательства, оставались единичными. Все изменилось с внедрением в электронную микроскопию нового метода подготовки образцов, при котором сохраняется структура углеродистых соединений. Тогда отчетливо проявилось бактериальное происхождение многих прежде «немых» пород. Это позволило ученым объявить о возникновении новой отрасли палеонтологии — бактериальной (Розанов, Заварзин, 1997).

Основным объектом исследования бактериальной палеонтологии до сих пор остаются наиболее древние породы, которые просто не могут содержать иных остатков, кроме прокариот (Розанов, Заварзин, 1997), либо это металлоносные или битуминозные породы, в которых органогенные остатки высших организмов заведомо случайны. Несомненно, что альгобактериальные маты и прокариоты существовали во все периоды геологической истории. Трудности в диагностике были связаны с присутствием многочисленных углеродистых остатков иного происхождения.

Большие возможности в бактериальной палеонтологии открывает изучение процессов окремнения организмов. Исследование термальных источников Камчатки показало, что обитающие в них синезеленые водоросли могут фоссилизироваться очень быстро (Кальдерные ..., 1989). При этом окремнение сохраняет прижизненные формы колоний клеток и детали клеточного строения. Так, современные отложения термальных источников — гейзериты — являются фоссилизированными альгобактериальными матами (Жегало и др., 2007). Под электронным микроскопом

© Д.В. Мачальский, 2013

пом видны водорослевые нити и их пучки, клетки внутри них, процесс распада трихомов и даже окремнение слизистой оболочки.

Несомненно, что среди пород, прошедших различные стадии уплотнения и метаморфизма, следует выбирать разности, наименее измененные постседиментационными процессами. Такие разности можно наблюдать среди битуминозных кремней (фтанитов), которые слагают маркирующие горизонты в олигоценовых отложениях Карпат. Они состоят их тонкодисперсного битума и волокнистой модификации кремнезема – халцедона различной степени упорядоченности. Установлено, что наименее раскристаллизован халцедон в составе кремней микрополосчатой текстуры. В них чередуются очень тонкие плейчатые полосочки битумного и кремнистого состава, а присутствие органики, вероятно, тормозит процессы упорядочения кристаллической структуры кремнезема (Лазаренко та ін., 1962).

Именно микрополосчатая текстура наиболее напоминает строение современных альгобактериальных образований. Как установлено Б.В. Перфильевым (1972), такая полосчатость возникает в озерных отложениях под влиянием жизнедеятельности бактерий и в микробиологии получила название биогенных зон превращения. Интенсивность их образования обусловлена концентрациями металлов и органики в иловых растворах. Процесс экспериментально подтвержден на океанских илах, причем было доказано, что осаждение сульфидов железа в них исключительно микробиальное (Лазуренко, 1989).

Вероятно, подобная схема применима и к альгобактериальным матам. Полосчатость характерна для их фоссилизированных остатков, таких как современные гейзериты (Жегало и др., 2007) и древние строматолиты (Маслов, 1960). Битуминозные кремни, очевидно, соответствуют окремнелым цианобактериальным матам на современных гидротермах (Кальдерные ..., 1989). На это указывают полосчатость и концентрация тонкодисперсной органики и кремнезема. Кроме того, включения и прожилки в этих породах свидетельствуют об участии в их образовании углеводородно-гидротермальных флюидов (Маевский, 1994).

Таким образом, можно предположить, что битуминозные кремни олигоцена Карпат являются фоссилизированными цианобактериальными матами, образовавшимися на донных эксгаляциях углеводородно-кремнистого состава. Доказательством тому могут служить выявленные остатки *Cyanophyta*, которые в условиях относительно глубокого палеобасейна (вероятно, 300–800 м) могли существовать только в составе мата.

### Материалы и методы

Изучались образцы пород, отобранные из олигоценовых отложений северного склона Украинских Карпат, в основном из битумно-кремнистых пород т.н. «роговиковых горизонтов», имеющих в геологии Карпат маркирующее значение. Из них изготавливали тонкие прозрачные срезы – петрографические шлифы (толщина 0,25 мм). Всего изучено более 600 шлифов.

Методика основана на сопоставлении современных и ископаемых альгобактериальных образований установленного происхождения (Маслов, 1960; Перфильев, 1972; Лазуренко, 1981, 1989; Кальдерные ..., 1989; Жегало и др., 2007) и битуминозно-кремнистых пород олигоцена, происхождение которых не доказано (Лазаренко та ін., 1962; Маевский, 1994). Формы *Cyanophyta* были определены по известной методике (Еленкин, 1948), систематика осуществлена согласно Н.В. Кондратьевой и др. (Визначник ..., 1984). Для интерпретации полосчатых текстур принята микробиологическая методика Б.В. Перфильева (1972) по изучению микроразнообразия строения иловых озерных отложений.

Исследования объектов проводились в прозрачных шлифах при помощи микроскопа ПОЛАМ-213 (x1600). Для документации структур использовалась цифровая фотокамера Samsung S630 (разрешение 6,0 мегапикс.), а при необходимости – зарисовки. Реальность интерпретации автором бактериальных палеосообществ и степень их развития подтверждается многочисленными публикациями по глубоководным биоценозам на источниках гидротермальных растворов и восстановленных газов в современных морях и океанах (Лобье, 1990; Пименов и др., 1997; Зайцев, 2002).

### Результаты и обсуждение

Окремнелые остатки прокариот описаны из микрослоистых битуминозных кремней (фтанитов), которые с увеличением количества глинистых минералов переходят в кремнисто-битуминозные аргиллиты и туффиты. Порода насыщена тонкодисперсным битумом и сульфидами железа. Кремнезем в них представлен халцедоном. В текстуре породы чередуются микрослойки различной степени раскристаллизации – почти чистый халцедон и битумно-кремнистый агрегат с низкой степенью упорядоченности кристаллической структуры. В последних наблюдается наиболее ранняя для данных пород стадия окремнения органических остатков и наиболее полно сохраняется их строение. Здесь установлены остатки *Cyanophyta* класса *Hormogoniophyceae*. Среди представителей класса определены кремнистые и битуминозные фоссилии, которые составляют альгобактериальный мат.

Характерным признаком, по которому определяют остатки *Hormogoniophyceae* в породах, является трихом нитевидной формы, составленный из ряда или нескольких рядов функционально соединенных клеток. Трихом может иметь слизистую оболочку, которая в той или иной степени фоссилизируется. Нить может состоять из одного или нескольких трихомов и также иметь собственную колониальную слизистую оболочку.

Остатки *Hormogoniophyceae*, не определенные детальнее, описаны из битуминозных окремнелых аргиллитов и битуминозных туффитов микрослоистой текстуры. В них глинистые и опалово-глинистые слойки чередуются с битумными. В последних присутствуют остатки, замещен-

ные углеродистым веществом, которые представляют различные типы структур роста трихомов (см. фото):

- ложное петлевидное ветвление (1–3);
- истинное ветвление (4, 5);
- гетероцисты (6);
- гормогонии (7).

Битум плохо сохраняет детали клеточного строения организмов. Более-менее четко различимы лишь нити и обособленные клетки. В целом, битуминозные породы с терригенной и вулканогенной составляющей содержат как битумные цианобактериальные слойки, так и обособленные мелкие колонии и нити *Cyanophyta*. Вероятно, быстрое поступление обломочного материала часто разрушало донные цианобактериальные сообщества.

Битуминозные кремни (фтаниты) содержат остатки гормогониевых семейства *Oscillatoriaceae*. Кремни из олигоценных отложений Карпат считались породами, не содержащими органогенных остатков. Исследование их при больших увеличениях (до  $\times 1200$ ) показало, что органогенные остатки в них не редкость. Однако фоссилии имеют небольшие размеры и полностью сохраняются лишь в единичных образцах. В целом, в кремнях они являются пороодообразующими организмами.

В литературе встречается лишь одно упоминание о таких фоссилиях. Это волосовидные, округлые и червевидные выделения халцедона водорослевого происхождения в битуминозных полосчатых кремнях (Лазаренко та ін., 1962). Согласно этой работе, такие кремни встречаются полосками по краям слоев чистых халцедонолитов или образуют пачки тонкого чередования с аргиллитами.

По форме и строению фоссилии, изученные автором данной работы, сходны с современными гормогониевыми семейства *Oscillatoriaceae* (см. фото, 8). Представители семейства определены по таким признакам (Еленкин, 1948):

- трихомы без ложного ветвления, длинные, разнообразно изогнуты, почти на всем протяжении одинаковой ширины;
- клетки короткие, дисковидной формы без спор и гетероцист, т.е., трихомы сложены одинаковыми клетками.

В битуминозных кремнях остатки *Oscillatoriaceae* составляют цианобактериальные маты. Они представлены очень тонким микроплойчатым переслаиванием битумно-бактериальных и халцедоно-осцилляториевых полос. Халцедон последних имеет низкое двупреломление (т.н. «низкий» или опаловидный). В нем выделяются светлые волокна-нити, сложенные халцедоном большего двупреломления, с тонкой поперечной штриховкой (см. фото, 8) толщиной 2–3 мкм и длиной 20–70 мкм. Эти волокна интерпретированы как трихомы с короткими (ширина значительно больше длины) дисковидными клетками. Нити повторяют изгибы слоистости, переплетаются и разветвляются. Встречаются нити, сложенные из нескольких параллельных трихомов и ветвление нитей от сферолита халцедона, вероятно, — споры.

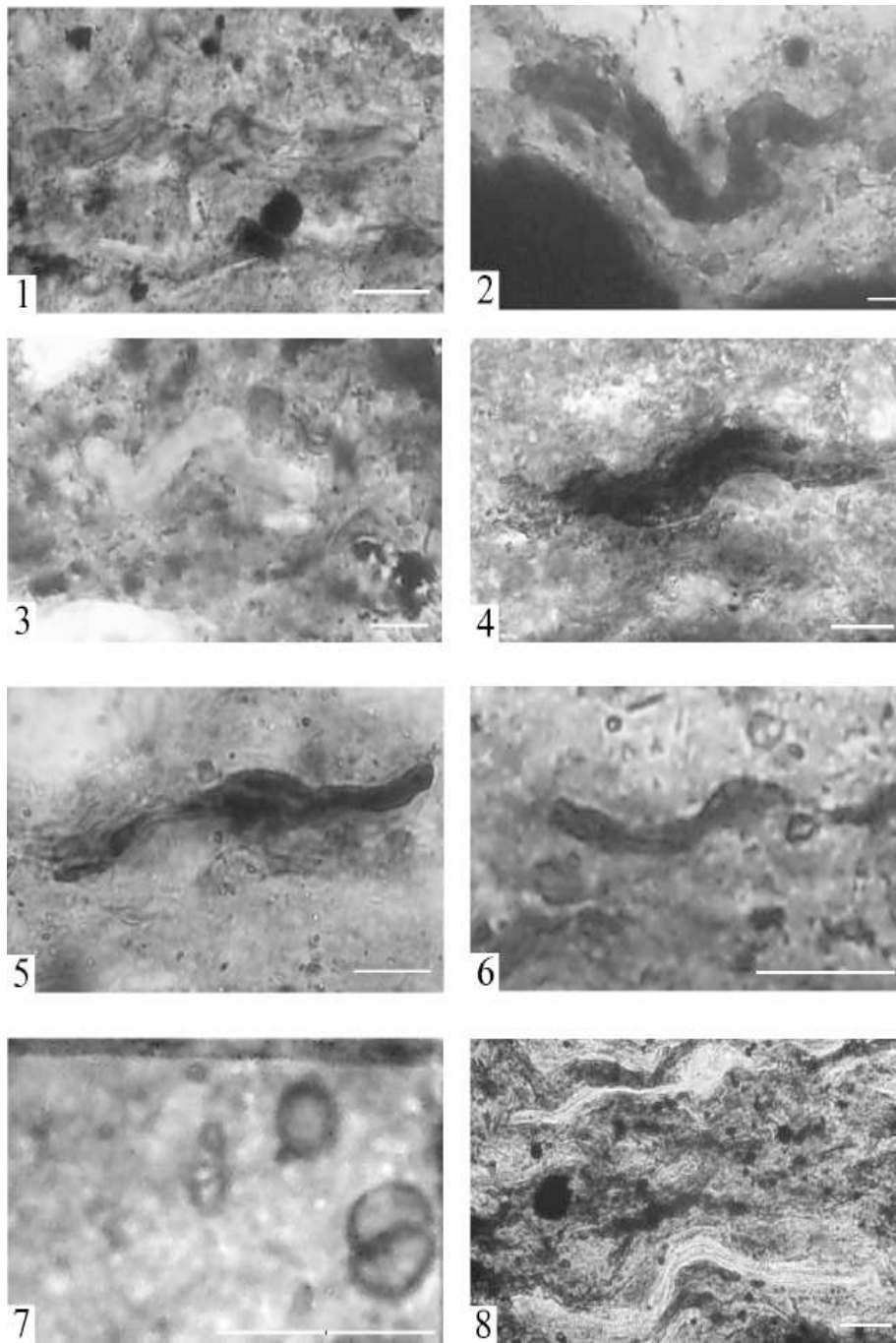


Фото. 1–7 – нити *Hormogoniophyceae*, замещенные битумом, в окремнелых битуминозных породах: 1–3 – ложное петлевидное ветвление; 4, 5 – истинное ветвление; 6 – нить *Hormogoniophyceae* с гетероцистой; 7 – гормогония (в центре) и бактериальные клетки; 8 – окремнелые нити *Oscillatoriaceae* в битуминозном полосчатом кремне. Николи параллельны. Масштаб 10 мкм

На различных участках нитей наблюдаются «раздувы» — невыразительные пятна халцедона, который, вероятно, возник на месте утолщений колониальной слизи (см. фото, 8). Встречаются симметричные окончания нитей — сужающиеся или закругленные. Нередки тупые, как бы обломанные окончания, что напоминает формы распада трихомов в окремнелых бактериальных матах гидротермальных источников (Кальдерные ..., 1989).

Наиболее характерным признаком *Oscillatoriaceae* в шлифах являются прихотливые изгибы нитей. Вероятно, они являются следствием образования бактериальной «микроплойчатой» текстуры полосчатых кремней. В седиментологии такие текстуры объясняют оползанием или уплотнением рыхлого ила. Однако этому противоречит то, что прилегающие микрослойки изгибаются по разному. В то же время, микроплойчатый рисунок с хаотичными изгибами — это характерная черта бактериальных поверхностей, в которых нити изгибаются вследствие неравномерного роста и деления. Тонкая микроплойчатая полосчатость встречается в битуминозных породах достаточно часто. То, что именно в ней установлены бактериальные остатки, свидетельствует о наименьшей степени раскристаллизации таких пород. Наличие этой текстуры указывает на бактериальные покровы там, где остатки *Cyanophyta* не сохранились или присутствуют в виде неясных «теней».

В целом можно констатировать, что характерные черты описанных фоссилий отвечают строению живых *Cyanophyta*, что указывает на их прижизненное захоронение. То есть, альгобактериальный мат образовался на дне морского бассейна и составлял характерную ассоциацию организмов кремнистой седиментации.

Нити бывают четко очерченные или окруженные «теновой» структурой — облаковидным халцедоном нечетких контуров. Вероятно, «теновая» структура образовалась при замещении слизистых оболочек. Облаковидный халцедон вокруг нитей указывает на существование у трихомов мягких, расплывчатых оболочек, как у рода *Phormidium* Kütz. Возможность их окремнения, в т.ч. у *Phormidium*, подтверждена данными о гидротермальных сообществах (Кальдерные ..., 1989). Встречаются также четко очерченные нити, которые, возможно, указывают на существование прочных оболочек, характерных для рода *Lyngbya* Ag.

*Oscillatoriaceae*, вероятно являющиеся представителями родов *Phormidium* и *Lyngbya*, встречены в составе цианобактериальных матов в кремнях нижнероговикового горизонта и горизонта полосчатых известняков олигоценовых отложений Украинских Карпат. Образцы с хорошо сохранившимися остатками довольно редки. Однако для них всегда характерна полосчатая текстура, которая широко распространена в кремнях названных горизонтов. Это позволяет предположить, что *Oscillatoriaceae* составляли характерную ассоциацию организмов битумино-кремнистой седиментации. Их развитие было связано с активизацией донных флюидов углеводородно-гидротермального состава.

## Заключение

Для маркирующих горизонтов олигоцена Украинских Карпат характерны битумно-кремнистые породы с микрополосчатой текстурой, насыщенные тонкодисперсным битумом неясного происхождения. Эти черты соответствуют современным альгобактериальным матам, обитающим на гидротермах. Доказательством бактериального происхождения этих пород являются остатки *Cyanophyta*, обнаруженные в битуминозных полосчатых кремнях. Вероятно, они относятся к классу *Hormogoniophyceae*. Наиболее полно сохраняются фоссилии, замещенные кремнеземом. В них видны элементы клеточного строения и слизистых оболочек нитей. Такие остатки определены как *Oscillatoriaceae* (вероятно, роды *Phormidium* sp. и *Lyngbya* sp.). Органические остатки, замещенные битумом, имеют меньшую сохранность и наделены общими признаками класса.

Рассмотренные данные позволяют предложить модель формирования битумно-кремневых горизонтов олигоцена Карпат. Их образование произошло в период существования морского палеобассейна с мощной толщей осадочных отложений. Для таких толщ характерно накопление в их глубинных слоях углеводородно-водных флюидов при аномальном пластическом давлении. Под влиянием этого давления и при тектонических подвижках флюиды мигрируют в более высокие горизонты осадочной толщи и выходят на поверхность дна бассейна в виде газовых струй и гидротермальных растворов. В местах выхода донных эксгаляций на дне развиваются альгобактериальные сообщества.

Вероятно, донные эксгаляции составляли характерную черту олигоценового палеобассейна. Флюидный поток способствовал массовому размножению бактерий в верхних слоях осадка и образованию на его поверхности альгобактериальных матов. Основой их жизнедеятельности были углеводороды и восстановленные газы. Бактерии превращали нефтяные углеводороды и минеральные вещества в органические соединения, которые легко усваиваются организмами. Это создавало условия для развития *Cyanophyta*. Цианобактериальные покровы задерживали значительную часть флюидных растворов, что вызывало их минерализацию. Сочетание минерализации мата и периодического перемещения организмов на новую поверхность роста обусловило появление микрополосчатости. Бактериальная деятельность способствовала насыщению осадка органикой и ее фоссилизации из-за появления зоны сероводородного заражения. Это, в свою очередь, обусловило возникновение пород, насыщенных тонкодисперсным битумом и сульфидом железа.

Периоды тектонической активности вызывали массовые бурные извержения донных флюидов и, как следствие, активное развитие донных палеосообществ. Самая мощная из таких активизаций проходила в начале олигоцена. Ее результатом явилось образование наиболее мощного в регионе горизонта битумно-кремнистых пород — нижнероговикского. Два других литологических маркера — региональный горизонт полосча-

тых известняков и локальный верхнероговиковый горизонт — образовались при активизациях меньшей интенсивности.

*При подготовке статьи использована коллекция В.В. Кузовенко (ДП «Захидукргеология»), коллекция Тематической партии ДП «Захидукргеология» и собственные сборы автора.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Визначник прісноводних водоростей Укр. РСР. Вип. I. Синьозелені водорості — Суапорхута. Ч. 1 / Н.В. Кондратьева, О.В. Коваленко, Л.П. Приходькова. — К., 1984. — 388 с.*
- Еленкин А.А. Синезеленые водоросли СССР. Систематическая часть. Вып. 1. — М.: Л.: Изд-во АН СССР, 1936. — 984 с.; вып. 2; 1948. — 923 с.*
- Жегалло Е.А., Карпов Г.А., Лупкина Е.Г. и др. Суапорхута в гейзеритовых отложениях Камчатки // Альгология. — 2007. — 17, № 1. — С. 88–92.*
- Заварзин Г.А. Литотрофные микроорганизмы. — М.: Наука, 1972. — 324 с.*
- Зайцев А. Белые братья черных курильщиков // Знание — сила. — 2002. — № 3. — С. 57–58.*
- Кальдерные микроорганизмы / Г.А. Заварзин, Г.А. Карпов, В.М. Горленко и др. — М.: Наука, 1989. — 120 с.*
- Лазаренко Є.К., Габінет М.П., Сливко О.П. Мінералогія осадових утворень Прикарпаття. — Львів: Вид-во Львів. ун-ту, 1962. — 482 с.*
- Лазуренко В.И. Геохимическая деятельность сульфатредуцирующих бактерий в иловых отложениях северной части Индийского океана // Геол. журн. — 1981. — 41, № 5. — С. 142–147.*
- Лазуренко В.И. Геологическая деятельность железобактерий. — Киев: Наук. думка, 1989. — 92 с.*
- Лобье Л. Оазисы на дне океана. — Л.: Гидрометеиздат, 1990. — 156 с.*
- Маевский Б.И. Особенности седиментогенеза высокоуглеродистых кремнистых отложений менилитовой свиты Украинских Карпат // Геол. журн. — 1994. — № 2. — С. 98–105.*
- Маслов В.П. Строматолиты. — М.: Изд-во АН СССР, 1960. — 108 с.*
- Перфильев Б.В. Микрозональное строение иловых озерных отложений и методы его исследований. — Л.: Наука, 1972. — 216 с.*
- Пименов Н.В., Русанов И.И., Поглазова М.Н. и др. Бактериальные обрастания на коралловидных постройках в местах выхода метановых газовыделений в Черном море // Микробиология. — 1997. — 66, № 3. — С. 421–428.*
- Розанов А.Ю., Заварзин Г.А. Бактериальная палеонтология // Вестн. РАН. — 1997. — 67, № 3. — С. 241–245.*

Поступила 2 февраля 2013 г.

Подписала в печать А.П. Ольштынская



*D.V. Machalskij*

Thematic party DC NJSC "Nadra Ukrainy" "Zahidukrgeologia",  
8, Mitskevicha sq., Lvov-centre 79000, Ukraine  
e-mail: dijumast@ukr.net

THE *CYANOPHYTA (CYANOPROKARYOTA)* IN BITUMINOUS FLINTS OF  
OLIGOCENE IN UKRAINIAN CARPATHIANS

The rockforming rests of *Cyanophyta* in Oligocene of Ukrainian Carpathians are established. *Hormogoniophyceae* occupied the terrigenous and volcanigenous sediments, from *Hormogoniophyceae Oscillatoriaceae* formed the siliceous cyanobacterial mats. The organism's development and type of organogenic rocks were determined by ground fluids composition.

**Key words:** Carpathians, Oligocene, *Hormogoniophyceae*, *Oscillatoriaceae*, cyanobacterial mats, ground fluids.