

УДК 56.016

Л.В. Попова
ПРОБЛЕМА PALEODICTYON

L.V. Popova
THE PROBLEM OF PALEODICTYON

Розглянуто історію вивчення проблематик, які відносять до роду *Paleodictyon* Menengini, а також екологію, тафону-мію і мінливість цих знахідок. На основі проведеного аналізу зроблено висновок, що *Paleodictyon* не може бути слідами повзання або рештками будь-якого організму; натомість ця форма абсолютно ідентична так званим конвекційним коміркам Релея-Бенара.

Ключові слова: *Paleodictyon*, сліди повзання, фліш, конвекційні комірки.

History of study, ecology, taphonomy and variability of trace fossils classified as *Paleodictyon* Menengini are considered. The present study allows drawing a conclusion that *Paleodictyon* is not a trace fossil or a remain of some other organism. However it is absolutely identical with the so-called natural Rayleigh-Benard convection cells.

ВСТУПЛЕНИЕ

Следы, относимые к роду *Paleodictyon* Menengini, 1851, до сих пор привлекали внимание скорее своей на редкость драматической историей изучения, чем практической востребованностью. Поскольку распространение данного ихнотаксона охватывает интервал от кембрия до современности [1, 3, 18], их прямое использование в стратиграфии исключается, случаи решения задач местной стратиграфии на основе находок палеодиктиона не подтверждались [9]. Может быть, специалисты по палеоихнологии могли бы указать случаи, когда находки *Paleodictyon* способствовали решению палеоэкологических задач; если же нет, то эвристическая ценность этих неплохо изученных «следов ползания», с их детально разработанной [3-7, 15, 21 и др.] систематикой и диагностикой, равняется нулю.

Поэтому наше обращение к проблеме *Paleodictyon* было в общем случайным, имея своей исходной точкой одну фотографию этих характерных шестигранных ячеек (в том случае они были необычного золотистого цвета, но в остальном напоминали палеодиктионов, находимых, например, в флишах крымской серии, как две капли

воды). Фотография была подписана «Конвективные ячейки Релея-Бенара в слое силиконового масла, подогреваемого снизу» (рис. 1) и представляла собой один из наиболее распространенных примеров самоорганизации в неживых системах, помещаемых на общеобразовательных сайтах.

Если палеодиктион – действительно результат термогравитационной конвекции, то эти занятные сеточки из «вещи в себе», которая не свидетельствует ни о чем, кроме наличия в слое отпечатков палеодиктиона, превращаются в источник информации о физических параметрах среды – о наличии определенного градиента температур на ранних стадиях диагенеза, когда осадок сохраняет жидкую фазу.

С методологической точки зрения интересны также вопросы, насколько эффективными окажутся биологические критерии систематики в применении к палеодиктиону как условному палеоихнологическому объекту (т. е., можно ли проверить с их помощью гипотезу о небиологической природе этих отпечатков) и как выглядят термоконвекционная и биологическая гипотезы происхождения *Paleodictyon* в чисто физическом аспекте.

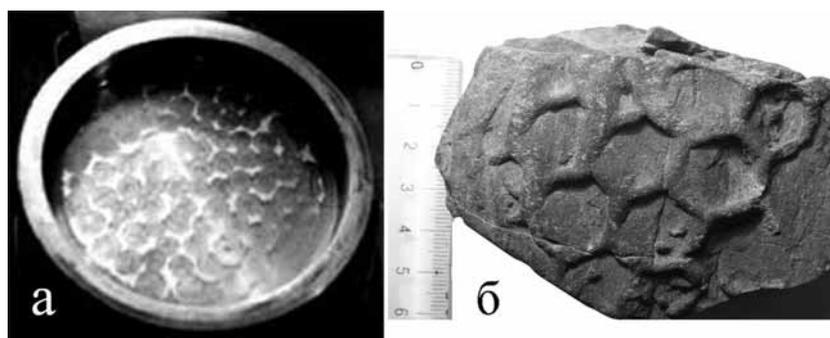


Рис. 1. Конвективные ячейки Бенара (а) и палеодиктион (б)

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

Поставленные задачи предполагают самое широкое привлечение литературных данных, тем более что известные автору образцы *Paleodictyon* из Крыма – всего три экземпляра, причем в настоящее время один из них утерян, а два получены из обнажений, изученных очень поверхностно. Обращение к

этому материалу в работе сводится к приведенной на рис. 1б фотографии одного из сохранившихся образцов.

ИСТОРИЯ ВОПРОСА И ЕГО СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ

Фактологическая основа. «Более 130 лет тому назад впервые были описаны своеобразные биоглифы, которые представляют собой барельефную шестиугольную сеточку с выступающими перегородками. В таком виде они находятся всегда на нижней поверхности слоев (обычно песчаников и в редких случаях известняков). Все это вторичные отливки основных следов. Величина ячеек чрезвычайно разнообразна – от долей миллиметров до нескольких сантиметров» [3, с. 7]. Палеодиктионы связаны также с алевролитами [2, 11].

Подобные палеодиктионам сеточки на верхних поверхностях напластования О.С. Вялов и Б.Т. Голев предложили объединить в группу *Priodictynidae* – поскольку палеодиктион является отливкой, то похожий на него приодиктион полностью ему противоположен: его выпуклостям у оригинала отливки – палеодиктиона соответствуют впадины, и наоборот [4, 5]. В крымском флише встречаются оба упомянутых ихнотаксона [8].

Что касается стратиграфического интервала распространения палеодиктионов, к нему, как говорится, трудно что-то добавить – это буквально весь фанерозой [3, 19, 20], география находок также очень широка, и хотя считается, что данный таксон достаточно четко связан с отложениями турбидитов, это не обязательно так (например, работа [2]). Главное, что разрез должен иметь ритмическое строение, что это должно быть переслаивание разных по гранулометрическому составу и, очевидно, другим физическим свойствам пород.

Определенная мощность слоев также имеет значение. Палеодиктионы практически не встречаются в толстослоистых турбидитах и обильны в тонкослоистых [18]. Считалось, что они приспособлены к глубоководным условиям, но этого тоже нет. Например, на Чукотке палеодиктион ассоциирован с *Aucella* [2, 14]. Он в пределах одного разреза может встречаться как в флишах, так и в отложениях глинистых сланцев и песчаников с обломками древесины и растительного детрита [9]. Приводится ряд находок на территории Ирана, связанных с относительно мелководными (шельфовыми) отложениями [16]. Они приурочены к переслаивающимся пескам и аргиллитам, накапливающимся в бассейне, который претерпевал интенсивное опускание, в результате чего образовались мощные слоистые толщи.

Чего действительно не хватает в литературе, посвященной палеодиктиону, так это описаний разрезов, в которых сделаны находки. Какова была мощность ритмов и отдельных слоев в них? Мощность слоя – один из расчетных показателей для числа Релея, при критических значениях которого начинается конвекция. Нет ли каких-нибудь указаний на додиагенетическое нагревание осадка? Вообще палеодиктионы обычно связаны с магматически и тектонически довольно активными районами, но определенно указано на наличие термического фактора только в двух случаях [12, 19]. Есть ли следы размыва между ритмами? Размыв между ритмами является ключевым моментом для гипотезы происхождения *Paleodictyon*, принадлежащей А. Зейляхеру, о которой пойдет речь ниже. Правда, этот вопрос рассматривается в работе Р. Монасо [18], но автор (разделяющий гипотезу А. Зейляхера) как раз палеодиктионы и использует в качестве критерия глубины размыва пласта. Если размыв обнажил ходы крупных палеодиктионов (предполагается, что они строили свои туннели глубже) – значит, это был относительно сильный размыв, мелкие палеодиктионы соответствовали размыву всего в нескольких миллиметров.

Гипотезы происхождения *Paleodictyon*. Гипотезы абиогенного происхождения *Paleodictyon* в настоящее время, кажется, совершенно отброшены. Водорослевая гипотеза [10, 11] упирается в преимущественно глубоководные условия, к которым приурочена данная форма. Недостаток света сделал бы невозможным фотосинтез. Палеодиктионов связывают также с малоизученными гигантскими многоядерными простейшими – ксенофиофорами [22]. Наиболее общепринятая гипотеза принадлежит А. Зейляхеру [21]. Палеодиктион рассматривается как «грибные сады» неизвестного представителя инфауны. Эти лабиринты располагались в слое осадка и были связаны с поверхностью вертикальными ходами для вентиляции. Хозяин периодически обходил их и питался до тех пор пока очередной турбидитный поток не разрушал его вертикальные вентиляционные шахты и верхнюю часть сотобразных туннелей, заполняя оставшиеся канавки песком. Потому-то никаких вертикальных туннелей обычно и не находят. Остатками этих вертикальных туннелей считаются бугорки в узлах шестиугольных ячеек, наблюдаемые у *Paleodictyon nodosum* Seilacher, 1977, описанного из эоценового флиша.

Правда, математический анализ геометрии отпечатков свидетельствует, что палеодиктиона вряд ли можно интерпретировать как туннели или следы ползания – они, так сказать, экономически

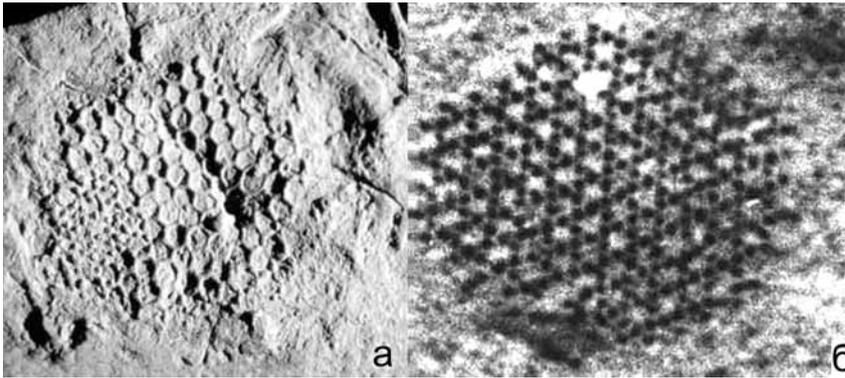


Рис. 2. *Paleodictyon nodosum* Seilacher и поле упорядоченно расположенных точек со дна рифтовой долины Срединно-Атлантического хребта (по P. Rona [19])

неэффективны. Чтобы добраться до нетронутых участков, их хозяину все время приходилось бы повторно проходить только что пройденные [17].

Но относительно недавние исследования рифтовой долины Срединно-Атлантического хребта [19, 20], казалось, настолько убедительно подтвердили гипотезу «грибных садов», что вышецитированные малопонятные математические изыски [17] никого особенно не огорчили. Во время экспедиции Discoverer в 1976 г. Питером Роне оттуда были получены фотографии (рис. 2), в которых А. Зейляхер сразу же опознал свой *Paleodictyon nodosum*, т. е. выходы его вентиляционных шахт. Последующие попытки П. Роне добыть предполагаемого обитателя шестиугольников с помощью сита или сохранить всю пробу в формалине были неудачны – там ничего не оказалось [20]. Наконец в 2003 г. при исследовании геотермального поля Трансатлантического геотриверса пилот глубоководной субмарины догадался сдуть илистый осадок на месте шестиугольных точечных полей удачно направленной струей воды, причем открылись характерные сотообразные туннели. Идентичность странных глубоководных шестиугольников и ископаемого палеодиктиона была доказана. Правда, в пробах опять не оказалось их обитателя (во всяком случае, в статье P. Rona за 2004 г. [19] говорилось, что пробы «in progress», и других данных с тех пор, видимо, не поступало).

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

Физическая интерпретация. Отпечатки, представленные на рис. 1б, представляют собой так называемые конвективные ячейки Бенара. Механизм их образования следующий. При свободной конвекции и подогреве жидкости снизу нагретые слои поднимаются вверх, а на их место опускаются холодные. При определенных условиях (раз-

ность температур, мощность слоя, вязкость, плотность и теплопроводность среды) хаотичное движение молекул жидкости скачкообразно меняется на упорядоченное, в котором слой жидкости как бы разделяется вертикальными невидимыми стенками на одинаковые шестиугольные ячейки, напоминающие пчелиные соты. В каждой ячейке конвективное движение

направлено вверх в ее центре и вниз – по периметру или наоборот. Формирование ячеек Бенара обусловлено стремлением термодинамической системы к минимуму ее энергии.

В случае, если среда состоит из двух областей (рис. 3), одна из которых более плотная у поверхности теплообмена (ил), в менее плотной среде (вода) образуются ячейки Бенара, дающие отпечатки в виде углублений (лунок) по вершинам шестиугольников. В более плотной среде в результате движения среды формируются шестигранники, которые и сохраняются в виде отпечатков на перекрывающем слое (песчаника). То есть явление, изображенное на рис. 2, соответствует среде, состоящей из двух фаз, разных по физическим свойствам; причем в обеих число Релея достигло критического значения, и образовались сопряженные конвективные потоки.

Также следует отметить, что для возникновения конвективных ячеек Бенара необходима некоторая разность температур на нижней и верхней поверхности слоя, но высокая температура не обязательна. Конвекция может начаться и в температурных условиях, в общем близких к нормальным, при соответствующих значениях остальных расчетных показателей.

Биологическая интерпретация

Экология *Paleodictyon*. Одним из критериев вида является его экологическая ниша. Приспособление к глубоководным условиям во всех известных случаях представляет собой настолько узкую специализацию, что для ее обладателя совершенно исключаются какие-либо экскурсы поближе к поверхности. Подобной узкой специализации естественно было ожидать и от палеодиктиона. В действительности же об экологической специализации «рода» *Paleodictyon* и экологических нишах его отдельных видов вообще не может быть речи.

Исходя из цитированных источников [9, 12, 18 и др.], они встречаются в очень широком спектре глубин, в существенно различных ценозах, вероятно, в различных условиях аэрации и т. д.

Еще более удивительным с экологической точки зрения является четко выраженная приуроченность палеодиктиона к ритмично построенным толщам. В этом отношении он действительно абсолютно уникален как таксон, представители которого приурочены не к определенным условиям, не к осадкам определенной фации, а к определенному (ритмичному) строению разреза. Любой организм должен быть приспособлен к условиям, существующим здесь и сейчас. Обстановки, существовавшие в экологическом отношении «вчера», тем более обстановки, которые могут возникнуть «завтра», никаким образом не могут сказываться на его распространении. Организм, так сказать, органически не мог бы **выбрать** ритмиты.

Но зато мощные флишевые толщи, сложенные разными по физическим свойствам породами, многократно повторяющимися, многократно же повышают вероятность достижения критических значений числа Релея при возникновении в такой толще градиента температур.

Изменчивость. В ходе описания видов в пределах рода *Paleodictyon* возникают, очевидно, проблемы с межвидовой дифференциацией, с границами видов. О.С. Вялову и Б.Т. Голеву [5, 7] в ходе описания видов постоянно приходилось обращаться к внутривидовым формам типа *forma minor*, *forma major*. Это свидетельствует о том, что распределение признаков, которые данные авторы сочли таксономически весомыми, у палеодиктиона коренным образом отличается от нормального – экземпляров с пограничными значениями признаков не меньше или не намного меньше,

чем экземпляров со средними значениями. Биологические же виды должны быть репродуктивно изолированы от других, хотя бы и близкородственных видов. Как следствие, уклоняющиеся формы будут иметь проблемы с поисками полового партнера, не говоря уже о том, что они оттесняются к периферии экологической ниши. Это обуславливает сильный центростремительный отбор, который и формирует нормальное распределение по большинству признаков в пределах вида. С проблемой плавных переходов между «видами» *Paleodictyon* сталкивался, вероятно, и В. Новак [15]. О.С. Вялов и Б.Т. Голев [3, 7] критиковали его систему за произвольный характер, но проблема тут, скорее всего, состояла не в неправильном подходе к систематике, а в природе материала.

Конечно, можно возразить, что *Paleodictyon* все-таки ихнотаксон, искусственный таксон по определению. Но, с другой стороны, если бы он поддавался дифференциации на виды как нормальный биологический род, не было бы речи о его конвекционном происхождении.

Но самая удивительная особенность рода *Paleodictyon* – наличие у него двойника с верхних поверхностей напластования – рода *Priodictyon* Vialov, 1960, который подходит к палеодиктиону как ключ к замку. Такое сходство формы (причем достаточно сложной формы) не может быть случайным и свидетельствует о наличии тесной связи между объектами. Например, связи причинной (происхождение от единой причины – тепловой конвекции в слоистой толще). А зеркальное сходство между следами ползания червей, да еще приуроченными к разным поверхностям напластования, совершенно не поддается объяснению.

Выводы

Недавние находки П. Роне (связанные с гидротермальным полем, хотя и уже не действующим) только подтверждают конвекционное происхождение *Paleodictyon*. Конвекционная гипотеза хорошо объясняет все известные факты: и приуроченность находок к турбидитам, и характер изменчивости сеточек, и распространение их на существенно разных глубинах, и наличие двух типов сеточек, похожих как зеркальные отражения, но приуроченных к разным поверхностям пласта – верх-

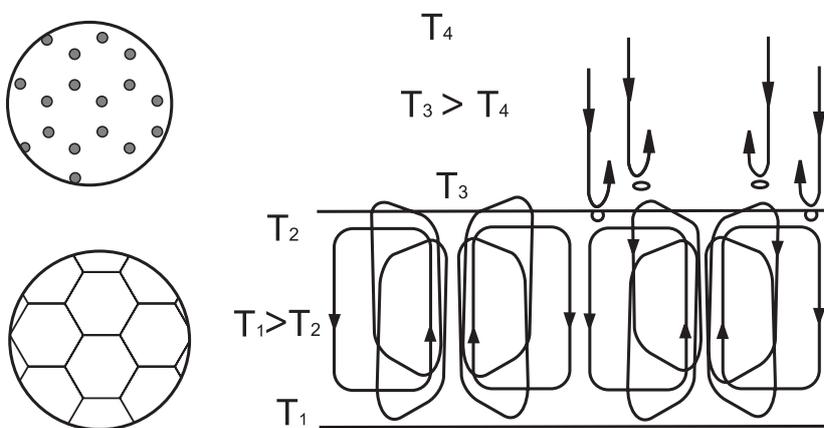


Рис. 3. Конвекция в системе из двух фаз (ил и вода)

ней и нижней. Биологические же гипотезы требуют многочисленных натяжек.

Итак, по нашему мнению, под именем *Paleodictyon* были описаны конвективные ячейки Бенара, возникающие в слое жидкости или в слое, содержащем жидкую фазу при наличии градиента температуры. Этот градиент могут создавать вулканизм, гидротермы, может быть, даже просто разность температур между принесшимся с шельфа турбидитным потоком (теплым) и дном глубоководного бассейна (холодным).

Благодарность: Физическая интерпретация механизма образования конвективных ячеек в слоистых толщах была проведена совместно с А.А. Халатовым (Институт технической теплофизики НАН Украины), которому автор очень признателен за консультацию и за поправки к тексту.

1. Вялов О.С. Следы жизнедеятельности организмов и их палеонтологическое значение. – Киев: Наук. думка, 1966. – 219 с.
2. Вялов О.С. О значении находки *Paleodictyon* на Чукотке // Сов. геология. – 1961. – № 8. – С. 106-109.
3. Вялов О.С. Обзор семейства *Paleodictynidae* // Палеонтологические и биостратиграфические исследования при геологической съемке на Украине: Сб. науч. тр. – Киев: Наук. думка, 1990. – С. 7-27.
4. Вялов О.С., Голев Б.Т. К систематике *Paleodictyon* // Докл. АН СССР. – 1960. – Т. 134, № 1. – С. 175-178.
5. Вялов О.С., Голев Б.Т. Принципы подразделения *Paleodictyon* // Изв. вузов. Сер. геологии и разведки. – 1964. – № 1. – С. 37-48.
6. Вялов О.С., Голев Б.Т. *Paleodictyon* Крыма // Там же. – № 3. – С. 24-36.
7. Вялов О.С., Голев Б.Т. О детальном подразделении группы *Paleodictynidae* // Бюл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. геол. – 1965. – Т. 40, № 2. – С. 91-114.
8. Геккер Р.Ф., Карпинский А.П. Изучение проблематических окаменелостей // Там же. – 1949. – Т. 24, вып. 2. – С. 101-111.
9. Крымгольц Г.Я., Шалимов А.И. Новые данные по стратиграфии нижне- и среднеюрских отложений бассейна р. Альмы // Вестн. Ленингр. ун-та. Сер. геол. – 1961. – № 6. – С. 71-79.
10. Кушлин Б.К. О водорослевой природе палеодиктионов // Изв. АН СССР. Сер. геол. – 1981. – № 4. – С. 67-78.
11. Логвиненко Н.В. О флишевых текстурах триасовых отложений Крыма // Изв. вузов. Сер. геологии и разведки. – 1961. – № 3. – С. 16-26.
12. Начев И., Начев Ч. Тефратурбидите в България // Bulgarian geological society, 80-th Anniversary. – 2002. – P. 146-149.
13. Татоли И.А. Палеоихнологические исследования в Донбассе: состояние, перспективы // Палеонтологічні дослідження в Україні: історія, сучасний стан та перспективи: Зб. наук. пр. ІГН НАН України. – К., 2007. – С. 417-418.
14. Тильман С.М., Егоров Д.Ф. Новые данные по стратиграфии и тектонике правобережья реки Колымы в ее нижнем течении // Докл. АН СССР. – 1957. – Т. 113, № 2. – С. 421-424.
15. Nowak W. *Paleodictyon* w Karpatach flyszowych // Kwartalnik Geolog. – 1959. – Vol. 3, № 1. – P. 101-125.
16. Fürich F.T., Taheri J., Wilmsen M. New occurrences of the trace fossil *Paleodictyon* in shallow marine environments: examples from the triassic-jurassic of Iran // *Palaios*. – 2007. – Vol. 22, № 4. – P. 408-416.
17. Honeycutt C.E., Plotnick R. Mathematical analysis of *Paleodictyon*: a graph theory approach // *Lethaia*. – 2005. – Vol. 38 (4). – P. 545-350.
18. Monaco P. Taphonomic features of *Paleodictyon* and other graphoglyptid trace fossils in Oligo-Miocene thin-bedded turbidites, Northern Apennines, Italy // *Palaios*. – 2008. – Vol. 23. – P. 667-682.
19. Rona P. Secret Survivor // *Natural History Magazine*. – 2004. – Vol. 113. – P. 50-55.
20. Rona P., Seilacher A., Luginisland H. a.o. *Paleodictyon*, a living fossil on the Deep Sea floor: *Eos Transactions AGU, Fall Meeting Supplement, Abstract OS32A-0241*. – 2003.
21. Seilacher A. Pattern analysis of *Paleodictyon* and related Trace Fossils // *Trace Fossils, 2 / Crimes T.P., Harper J.C., eds. – Geolog. J. Spec. Issue. – 1977. – № 9. – P. 289–334.*
22. Swinbanks D.D. *Paleodictyon*: The traces of infaunal Xenophyophores? // *Science*. – 1982. – Vol. 218. – P. 47-49.

Київський національний університет
імені Тараса Шевченка,
Київ