

УДК [561 : 551.733.1] : 552.57(474.2)

А. В. ЛАПО, Н. С. МИХАЙЛОВА

### К ВОПРОСУ ОБ ИСХОДНОМ МАТЕРИАЛЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ДИКТИОНЕМОВЫХ СЛАНЦЕВ ПРИБАЛТИЙСКОГО БАССЕЙНА\*

Диктионемовые сланцы тремадокского яруса нижнего ордовика, имеющие глобальное распространение [1], получили свое название по характерной особенности — наличию сложенных коллагеном остатков планктонных граптолитов рода *Dictyonema*. По современным представлениям, диктионемовые илы накапливались в мелководных заливообразных эпиконтинентальных бассейнах нормальной солёности [2] с активным привнесом вулканогенного материала [3]. Граница аэробной и анаэробной зон в этих бассейнах проходила в водной толще выше уровня накопления осадков [4, 5].

Следует отметить благоприятное стечение разнообразных обстоятельств, которые способствовали формированию диктионемовых сланцев. Ранний ордовик, как известно, характеризуется расцветом фитопланктона, в составе которого в то время преобладали акритархи и появлялись многочисленные их новые виды [4], а также стремительным завоеванием планктонными граптолитами неритической и океанической областей [4]. Обильному развитию фитопланктона способствовало высокое содержание в водной среде элементов минерального питания, привносимых, в частности, поствулканическими растворами. Наряду с этим отсутствие в бассейнах седиментации зообентоса (обусловленное анаэробной обстановкой бентали) способствовало сохранению попавшего в осадок органического вещества (ОВ). Следовательно, пользуясь введенными ранее терминами, можно сказать, что накоплению диктионемовых илов благоприятствовали как био-, так и эко-факторы [6]. Благоприятным был и тафо-фактор: трансгрессивная фаза развития, характерная для раннего ордовика, способствовала сохранению накопившихся осадков и их переходу в ископаемое состояние.

Вопрос об исходном материале ОВ диктионемовых сланцев Прибалтийского бассейна до сих пор остается предметом дискуссий. Вклад тек диктионем в формирование исходного материала сланцев ни у кого не вызывает сомнений, однако по-разному оценивается разными исследователями. Так, Л. В. Клитина и И. А. Летушова, основываясь на петрографических исследованиях, считают этот источник главным [7], в то время как И. Ф. Юсупова с соавторами придают ему второстепенное значение [8]. В различных микропалеоботанических исследованиях диктионемовых сланцев Прибалтийского бассейна описаны

\* Доклад представлен на совещании «Геохимия, минералогия и литология черных сланцев» (Сыктывкар, 2—4 июня 1987 г.).

акритархи и органостенные микрофоссилии неопределенного систематического положения — «петли Эйзенака»\* и *Brauncorne Eis.* [9—12].

По мнению И. Р. Клесмента [13], основным продуцентом ОВ диктионемовых сланцев, как и кукерситов, являются цианобактерии, разница же между этими двумя типами горючих сланцев заключается лишь в большей степени разложения исходного материала ОВ диктионемовых сланцев. Этот вывод был сделан на основании данных о наличии в диктионемовых сланцах длинноцепочечных *n*-жирных кислот и длинноцепочечных *n*-алканов, свидетельствующих о вкладе бактериального и/или грибного материала в их формирование [14]. Остатки метанобразующих архебактерий были обнаружены и при электронно-микроскопическом изучении ОВ среднекембрийских и нижнеордовикских черных сланцев Австралии [15].

В литературе выражено мнение и о смешанном составе исходного материала ОВ диктионемовых сланцев [12, 16—18].

Таблица 1

**Химический состав горючих сланцев Прибалтийского бассейна и некоторых организмов ордовика (по литературным данным), %**

Исследованный материал	Элементный состав ОВ					$V_c^{daf}$	$T_{SK}^{daf}$	Источник цитирования
	$C_o^{daf}$	$H_o^{daf}$	$N_o^{daf}$	$S_o^{daf}$	$O_o^{daf}$			
Кукерситы	74—78	9,3—9,9	0,3—0,4	1,6—1,9	9—11	90—95	60—70	[7, 13]
Диктионемовые сланцы	67—75	7,4—7,6	1,9—3,6	2,0—2,8	12—19	47—54	10—20	[7, 13]
Остатки <i>Dictyonema</i>	73,6	5,4	2,4*		18,6	Не опр.	1,4—5,7	[16, 20]
Остатки <i>Acritarcha</i>	71,9	7,8	2,1		18,2	Не опр.	Не опр.	[11]

\* По данным С. М. Манской и Т. В. Дроздовой [19], остатки *Dictyonema* имеют  $N_o^{daf}$  3,15 %.

В доказательство значительного вклада остатков диктионем в формирование исходного материала диктионемовых сланцев ранее ссылались на сходство химического состава их ОВ [16, 19]. Однако, если осуществить такое сравнение на более современном материале (табл. 1), то между диктионемовыми сланцами и остатками *Dictyonema* обнаруживается значительное различие по содержанию водорода  $H_o^{daf}$  и выходу смолы полукоксования  $T_{SK}^{daf}$  — у диктионемовых сланцев оба показателя существенно выше. Наряду с этим, между диктионемовыми сланцами и кукерситами по всем химическим показателям обнаруживаются такие резкие различия в составе ОВ, которые вряд ли могут быть объяснены лишь различной степенью разложения их исходного материала. В этой связи значительный интерес представляет сравнительное исследование по единой методике исходного материала ОВ диктионемовых сланцев и других ордовикских пород, наиболее обогащенных ОВ, — оболочковых фосфоритов нижнего ордовика с содержанием ОВ 1—2,5% и ранее изученных по этой методике кукерситов среднего ордовика с содержанием ОВ 20—60% [21].

Пробы диктионемовых сланцев с содержанием ОВ от 11,3 до 22,6% были отобраны по трем пластпересечениям в западной части Прибалтийского бассейна: на Маардуском месторождении оболочковых фосфоритов (борт действующего карьера), вблизи пос. Арукюла (скв. 13а) и на Нарвском месторождении (скв. 615). (Химический состав изученных проб приводится в табл. 2).

\* «Петли Эйзенака» — организмы неясного систематического положения [9, 10], возможно, представляющие собой остатки красных или бурых водорослей.

Химический состав и преобладающие формы микрофоссилий изученных образцов диктионемовых сланцев Прибалтийского бассейна

Место отбора пробы (мощность пласта, м)	Часть пласта, М <sup>№</sup> рг образец	Содержание породообразующих окислов							Преобладающие формы микрофоссилий	
		SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		Na <sub>2</sub> O
Маардуское месторождение (2,8)	Верхняя, Э-107	18,9	0,71	11,9	5,39	1,20	5,84	0,44	1,99	<i>Leiosphaeridia minutissima</i> (Naum.)
	Средняя, Э-106	18,9	0,78	14,8	4,01	0,43	9,22	0,08	1,50	<i>L. minutissima</i> (Naum.), <i>L. sp. simplex</i> (Naum.), <i>L. sp. minutissima</i> (Naum.), <i>Lophosphaeridium zaleskyi</i> (Naum.), «петли Эйзенака»
	Нижняя, Э-105	18,1	0,74	14,0	3,74	0,47	7,64	0,10	1,40	<i>Leiosphaeridia minutissima</i> (Naum.), <i>Lophosphaeridium zaleskyi</i> (Naum.), «петли Эйзенака»
Сквандина 13а вблизи пос. Ару-кюла (1,8)	Верхняя, Э-127	11,3	0,71	13,7	4,37	0,79	7,48	0,37	0,11	<i>Leiosphaeridia minutissima</i> (Naum.), <i>Lophosphaeridium zaleskyi</i> (Naum.), <i>Lophosphaeridium zaleskyi</i> (Naum.), <i>Balti-sphaeridium sp.</i>
	Нижняя, Э-128	19,6	0,78	14,7	3,02	0,47	8,04	0,06	0,13	<i>Leiosphaeridia minutissima</i> (Naum.)
Нарвское (1,0)	Верхняя, К-49 <sub>0</sub>	16,7	0,78	12,3	5,84	1,75	7,10	1,05	0,15	«Петли Эйзенака», <i>L. minutissima</i> (Naum.), <i>L. sp. Единичные L. sp.</i>
	Средняя, К-48 <sub>0</sub>	19,4	0,68	10,64	4,95	0,73	6,46	0,36	0,11	«Петли Эйзенака», акри-тархи подгруппы <i>Diastog-</i>
	Нижняя, К-47 <sub>0</sub>	22,6	0,78	11,3	5,53	0,69	6,64	0,32	0,11	

\* Содержание ОВ (органической массы).

Исследование проводили методами углепетрографии и микропалеофитологии. Пробы измельчали вручную до крупности 0,25—0,50 мм с частым просеиванием для удаления более мелких частиц. Раздробленные пробы окисляли в кипящей азотной кислоте, легкие фракции выделяли центрифугированием в калий-кадмиевой тяжелой жидкости плотностью 2,3 г/см<sup>3</sup>. Органиомацерат деминерализовали плавиковой кислотой. Для микроскопического изучения из каждой пробы готовили по десять препаратов.

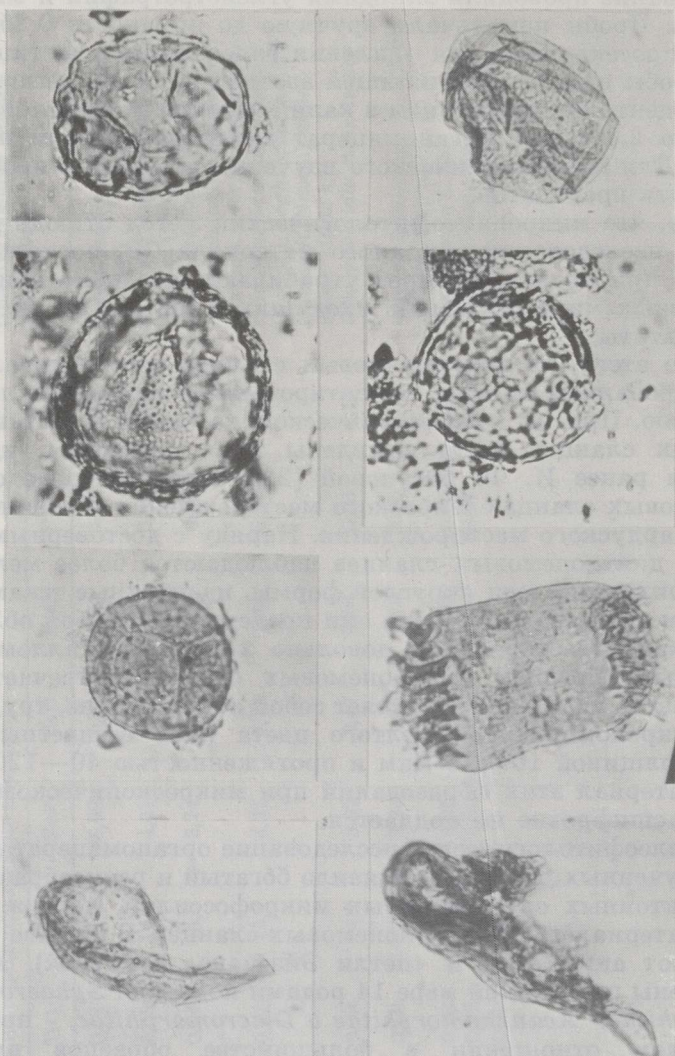
Известно, что микропалеофитологический метод отнюдь не универсален для исследования исходного материала ОВ, поскольку макрофоссилии\* при подготовке проб утрачиваются, однако при изучении органостенных микрофоссилий, входящих в состав ОВ, он дает хорошие результаты.

Помимо этого, из диктионемовых сланцев изготавливали двустороннеполированные шлифы, ориентированные перпендикулярно к напластованию. При их микроскопическом изучении в составе ОВ диктионемовых сланцев были выявлены теки диктионемом, идентичные описанным ранее И. Ф. Юсуповой [22]. Теки наиболее обильны в диктионемовых сланцах Нарвского месторождения и в нижней части пласта Маардуского месторождения. Наряду с достоверными теками, в шлифах диктионемовых сланцев наблюдаются более мелкие фрагменты штриховатой или округлой формы, идентичные текам по своим оптическим свойствам. Видимо, они представляют собой обломки тек, которые, как известно, были довольно хрупкими. Талломоальгинит в изученных образцах диктионемовых сланцев встречается редко. Большая часть их ОВ представляет собой очень мелкие, трудно различимые микрокомпоненты желтого цвета (или бесцветные) в виде штрихов толщиной 10—15 мкм и протяженностью 40—120 мкм. Исходный материал этих образований при микроскопическом изучении шлифов расшифровке не поддается.

Микропалеофитологическое исследование органиомацерата, выделенного из изученных образцов, выявило богатый и разнообразный комплекс планктонных органостенных микрофоссилий, послуживших исходным материалом ОВ диктионемовых сланцев. В составе комплекса преобладают акритархи и «петли Эйзенака» (рисунок). Акритархи представлены по крайней мере 14 родами подгрупп *Sphaeromorphitae*, *Hercosmorphitae*, *Acanthomorphitae* и *Diacromorphitae*, причем в количественном отношении в большинстве образцов преобладает *Leiosphaeridia minutissima* (Naum.) (см. табл. 2). Помимо акритарх и «петель Эйзенака», в подчиненном количестве представлены зеленые водоросли рода *Tasmanites* и цианобактерии рода *Gloeocapsomorpha*. Остатки акритарх, по-видимому, и слагают упомянутые выше штрихоподобные неидентифицированные микрокомпоненты, преобладающие в составе ОВ, в то время как остатки зеленых водорослей и цианобактерий при микроскопическом исследовании шлифов идентифицируются как талломоальгинит.

Набор и соотношение органостенных микрофоссилий в составе исходного материала ОВ диктионемовых сланцев различны для западного и восточного флангов изученной части Прибалтийского бассейна. Если для восточного фланга (Нарвское месторождение) наиболее характерны и обильны акритархи подгруппы *Diacromorphitae* (особенно в нижней части пласта), «петли Эйзенака» и зеленые водоросли рода *Tasmanites*, то для западного фланга (Маардуское и Арукюльское месторождения) более типично преобладание акритарх подгруппы *Sphaeromorphitae*, а в ее составе — *Leiosphaeridia minutissima* (Naum.) и *Lophosphaeridium zaleskyi* (Naum.).

\*В случае диктионемовых сланцев — теки диктионемом.



Органостенные микрофоссилии из диктионемовых сланцев, акри-  
тархи: 1—3 — подгруппа *Sphaeromorphitae* (1, 2 —  
*Leiosphaeridia minutissima* (Naum.), 3 — *Lophosphaeridium*  
*zalesskyi* (Naum.)); 4 — подгруппа *Hercomorphitae*, *Timofeevia*  
*phosphoritica* Vang.; 5 — подгруппа *Acanthomorphitae*,  
*Stelliferidium striatulum* (Vavrd.); 6 — подгруппа  
*Diacromorphitae*, *Acanthodiacrodium selectum* Tim.; 7, 8 — «петли  
Эйзенака» (1, 3 — Маардуское месторождение, обр. Э-105; 4 —  
скважина 13а вблизи пос. Арукюла, обр. Э-127; 2, 5—8 — Нарв-  
ское месторождение (2, 7, 8 — обр. К-49<sub>0</sub>, 5, 6 — обр. К-47<sub>0</sub>)).  
Все  $\times 600$

Корреляции между содержанием ОВ и составом комплексов органос-  
тенных микрофоссилий не обнаружено. Следует лишь отметить, что  
«петли Эйзенака» наблюдаются только в образцах с пониженным со-  
держанием  $\text{SiO}_2$  (менее 51,2 %). По данным микроскопического иссле-  
дования шлифов, в этих же образцах (Э-105, К-47<sub>0</sub>, К-49<sub>0</sub>) обнаружено  
значительное (выше среднего) количество тек диктионем. Вопрос о

том, является ли это случайным, следует решать на более обширном фактическом материале.

Комплекс органостенных микрофоссилий, выделенных из оболочковых фосфоритов Маардуского месторождения, в которых содержание ОВ на порядок ниже, чем в вышележащих диктионемовых сланцах, оказался значительно беднее. В нем представлено лишь четыре рода акритарх подгрупп *Sphaeromorphitae* и *Acanthomorphitae*, фрагменты нитчатых водорослей и два вида цианобактерий: *Gloeocapsomorpha prisca* Zal. и *G. macrocysta* Eis. Сохранность микрофоссилий большей частью не очень хорошая, — видимо, из-за того, что они переработаны бентосными организмами.

Исследование показало, что в составе ОВ диктионемовых сланцев, помимо остатков планктонных диктионем, присутствуют многочисленные органостенные микрофоссилии, среди которых преобладают акритархи и «петли Эйзенака». Значительный вклад акритарх в формирование ОВ диктионемовых сланцев подтверждается и химическими данными (см. табл. 1). По такому важнейшему показателю, как содержание водорода  $H_o^{daf}$  остатки акритарх (7,8%) и диктионемовые сланцы (7,4—7,6%) очень сходны между собой и резко отличаются от остатков *Dictyonema* (5,4%). По составу исходного материала ОВ диктионемовые сланцы оказываются не диктионемовыми, а диктионемово-акритарховыми.

Рассматривая распределение жизни в биосфере, В. И. Вернадский выделил в океане две «жизненные пленки» — планктонную («самый грандиозный биоценоз нашей планеты» [23, с. 236]) и бентосную. «Пленки жизни» играют важнейшую роль в формировании осадочных пород [6], и в их числе горючих сланцев.

Диктионемовые сланцы — характернейший пример горной породы, ОВ которой образовалось исключительно в результате жизнедеятельности планктонной «пленки жизни», представленной остатками как разнообразного в систематическом отношении фитопланктона, так и зоопланктона. В бассейнах седиментации, где происходило накопление диктионемовых илов, органический детрит попадал в осадки в виде фекальных пеллет и остатков зоопланктона [5]. Из-за отсутствия зообентоса осадки в ходе процессов диагенеза биогенной переработке почти не подвергались. Таким образом, согласно классификации Г. К. Хрусталевой [24], диктионемовые сланцы могут быть отнесены к зоофитопланктонитам.

Кукерситы, в противоположность диктионемовым сланцам, — результат функционирования как планктонной, так и бентосной «пленок жизни». В кукерситах остатки фитопланктона поразительно однообразны и представлены почти исключительно цианобактериями рода *Gloeocapsomorpha* (главным образом *Gloeocapsomorpha prisca* Zal., в меньшей степени — *G. macrocysta* Eis.) при незначительном участии акритарх [21]. Важная роль бентосной «пленки жизни» в формировании кукерситов фиксируется как по многочисленным находкам телесных остатков организмов зообентоса — мшанок, трилобитов, червей, так и по текстурам биотурбации — следам проявления их жизнедеятельности.

Таким образом, два типа горючих сланцев ордовика — диктионемовые сланцы и кукерситы, разделенные довольно небольшим стратиграфическим интервалом (всего два яруса), оказываются кардинально различающимися по основным генетическим особенностям.

Авторы благодарят П. А. Вингисаара и Э. А. Радека за предоставленные образцы диктионемовых сланцев из ядра разведочных скважин, И. Н. Сидорову за выделение органомацератов и И. А. Летушову за определение содержания ОВ.

1. *Erdtmann B.-D.* The Dictyonema shale event (Cambrian-Ordovician boundary) and its global implications // 27-й Междунар. геол. конгр.: Тезисы; Т. 1. — М., 1984. С. 37—38.
2. *Кивимяги Э. К., Вингисаар П. А., Утсал К. Р.* Литология, геохимия и условия формирования нижнеордовикских керогенсодержащих сланцев Эстонии // Углеродистые отложения докембрия и нижнего палеозоя и их рудоносность: Тез. докл. Всесоюз. семинара. Фрунзе. 1978. С. 44—45.
3. *Петерселль В. Х., Жуков Ф. И., Лоог А. Р., Фомин Ю. А.* Происхождение тремадокских керогенсодержащих алевролитов и аргиллитов Северной Эстонии // Горючие сланцы. 1987. Т. 4, № 1. С. 8—13.
4. *Erdtmann B.-D.* Palaeobiogeography and environments of planktic dictyonemid graptolites during the earliest Ordovician // The Cambrian-Ordovician boundary: sections, fossil distributions and correlations. National Museum of Wales, Cardiff, Geological Series. 1982. N 3. P. 9—27.
5. *Berry W. B. N.* Black shale geochemistry: A possible guide to Ordovician oceanic water masses // Palaeontological Contr. Univ. Oslo. 1984. N 295. P. 177—181.
6. *Лапо А. В.* Следы былых биосфер. — М., 1987.
7. *Клигина Л. В., Летушова И. А.* Петрографические и химические особенности диктионемовых сланцев и кукерситов Прибалтийского бассейна // Угольные бассейны и условия их формирования: Тез. докл. 4-го Всесоюз. геол. угольн. совещ. Львов. 1980. Ч. 2. С. 126—127.
8. *Юсупова И. Ф., Емец Т. П., Стефанова Е. И., Филиппова В. А.* Некоторые петрографические особенности органического вещества прибалтийских диктионемовых сланцев // Вестн. МГУ. Геол. 1972. № 4. С. 91—93.
9. *Eisenack A.* Mikrofossilien aus dem Ordovizium des Baltikums. 1. Markasitschicht, Dictyonema-Schiefer, Glaukonitsand, Glaukonitkalk // Senckenbergiana lethaea, 1938. Bd. 39. Hf. 5/6. S. 389—406.
10. *Умнова Н. И., Фандерфлит Е. К.* Комплексы акритарх кембрийских и нижнеордовикских отложений запада и северо-запада Русской платформы // Палинологические исследования в Белоруссии и других районах СССР. Минск, 1971. С. 45—73.
11. *Неручев С. Г., Тимофеев Б. В.* О вещественном составе древних микрофитофоссилий // Микрофитофоссилии протерозоя и раннего палеозоя СССР. Л., 1974. С. 10—13.
12. *Парпарова Г. М., Неручев С. Г., Гинзбург А. И. и др.* Исходный материал и фациально-геохимические условия формирования вещественно-петрографического состава ОБ разновозрастных доманкоидных отложений // Геохимия. 1984. № 12. С. 1882—1895.
13. *Клесмент И. Р.* О генезисе прибалтийских горючих сланцев // Горючие сланцы. 1985. Т. 2, № 1. С. 12—22.
14. *Вески Р. Э., Клесмент И. Р., Уров К. Э.* Липиды гетеротрофных микроорганизмов в горючих сланцах // Биогеохимические аспекты формирования осадочных пород и руд: Тез. докл. Всесоюз. семинара. Л., 1983. С. 107—108.
15. *Glikson M., Gibson D. L., Philp R. P.* Organic matter in Australian Cambrian oil shales and other lower Palaeozoic shales // Chemical Geol. 1985. V. 51, N 3/4. P. 175—191.
16. *Успенский В. А.* Об органическом веществе диктионемового сланца // Химия тв. топлива. 1938. Т. 9, № 1. С. 7—17.
17. *Наппа Л., Фомина А. С.* К вопросу об азоте органического вещества диктионемового сланца // Изв. АН ЭССР. Серия физ.-мат. и техн. наук. 1960. Т. 9, № 3. С. 195—204.
18. *Гинзбург А. И.* Место горючих сланцев в ряду твердых каустобиолитов // Химия тв. топлива. 1984. № 2. С. 6—8.
19. *Манская С. М., Дроздова Т. В.* Геохимия органического вещества. — М., 1964.
20. *Альтгаузен М. Н., Успенский В. А.* Геохимия углеродистого вещества нижнепалеозойских черных сланцев // Проблемы осадочной геологии докембрия. М., 1981. Вып. 7. Кн. 1. С. 34—42.
21. *Лапо А. В., Михайлова Н. С.* Исходный растительный материал горючих

- сланцев Эстонского месторождения (по данным микропалеоботанических исследований) // Основные направления научно-технического прогресса при поисках и разведке твердых горючих ископаемых: 8-е Всесоюз. угольное совещ.: Тез. докл. Ростов-на-Дону, 1986. Ч. 2. С. 160—161.
22. Юсупова И. Ф. Органическое вещество прибалтийских граптолитовых сланцев // Проблемы осадочной геологии докембрия. М., 1981. Вып. 7. Кн. 2. С. 141—146.
23. Вернадский В. И. Биогеохимические очерки. 1922—1932 гг. — М.; Л., 1940.
24. Хрусталева Г. К. Генетическая классификация горючих сланцев СССР // Геохимия, минералогия и литология черных сланцев. Сыктывкар, 1987. С. 123.

Представил К. Э. Уров

Всесоюзный научно-исследовательский  
геологический институт  
им. А. П. Карпинского

Поступила в редакцию  
2.10.1987

Институт геологии и геохронологии  
докембрия АН СССР  
г. Ленинград

A. V. LAPO, N. S. MIKHAILOVA

## ON THE INITIAL MATERIAL OF ORGANIC MATTER OF THE BALTIC DICTYONEMA SHALES

Coal petrography and micropaleophytology were used to investigate the initial material of organic matter of the Baltic Lower-Eocene dictyonema shales.

Microscopic examination of dictyonema shales microsections revealed planktonic *Dictyonema* and their attritus, rare inclusions of tallomoalginite, as well as numerous, unanalyzable fine light lines, 10—15 mkm in thickness and 40—120 mkm in length. Micropaleophytological investigation of dictyonema shales exposed a rich and diverse complex of planktonic microfossils which served as the initial material of their organic matter. The complex is abundant in microphytofossils and *Leiosphaeridia* Eisenack.

The first are represented by at least 14 types of the subgroups *Sphaeromorphitae*, *Hercomorphitae*, *Acanthomorphitae* and *Diacromorphitae*, with *Leiosphaeridia minutissima* (Naum.) prevailing. Green algae of the type *Tasmanites* and cyanobacteria of the type *Gloeocapsomorpha* are present in lower quantities. The residues of *Acrita* obviously accumulate microcomponents not identified by microscopic examination of microsections, while those of green algae and cyanobacteria are determined as tallomoalginite.

Consequently, judging by the initial material composition of their organic matter dictyonema shales are dictyonema-microphytofossils rather than dictyonema.

According to G. K. Khrustaleva's classification (1987) they may belong to zoophytoplanktonites. In sedimentation basins where accumulation of dictyonema slits took place zoobenthos was not present (Berry, 1984).

In the main genetic characteristics dictyonema shales entirely differ from the Baltic Middle-Ordovician kukersite investigated earlier whose residues of phytoplankton are amazingly homogeneous and are represented also exclusively by cyanobacteria of the type *Gloeocapsomorpha*. Low quantities of microphytofossils are also present (Lapo, Mikhailova, 1986). Unlike dictyonema shales, the contribution of benthos to the formation of kukersite is established by numerous findings of moss animals, trilobites and worms, as well as by signs of bioturbation.

A. P. Karpinsky Institute of Geology  
Leningrad

Academy of Sciences of the USSR  
Institute of Lower-Cambrian Geology  
and Geochronology  
Leningrad