

Р. Э. ВЕСКИ

## ЧЕРНЫЕ И УГЛЕРОДИСТЫЕ СЛАНЦЫ И ИХ СООТНОШЕНИЕ С ГОРЮЧИМИ СЛАНЦАМИ\*

В 1979 г. во Фрунзе, в рамках международной программы геологической корреляции по проекту ЮНЕСКО «Металлогения докембрия», был проведен семинар на тему «Углеродистые отложения докембрия и нижнего палеозоя и их рудоносность». Этот семинар стал первым этапом бурного развития нового направления в науке: предметом обсуждения ученых были изменения условий образования промышленных скоплений металлов с момента возникновения жизни на Земле и по мере ее развития. Были рассмотрены вопросы литологии и геохимии углеродистых отложений, их вещественный состав, условия формирования и преобразования, рудоносность, охарактеризованы методы их исследований [1].

С этим семинаром смыкается состоявшееся в 1987 г. в Сыктывкаре совещание по геохимии, минералогии и литологии черных сланцев, первое такого рода в Советском Союзе. Как и на семинаре по углеродистым отложениям, в центре внимания на совещании была роль органического вещества (ОВ) в рудообразовании. Но в отличие от круга проблем предыдущего мероприятия, в Сыктывкаре были подробно рассмотрены вопросы, касающиеся горючих сланцев [2].

По мере развития металлогенического направления, тесно связанного с эволюцией жизни и биогенного ОВ, возникает множество вопросов терминологического характера, касающихся горючих сланцев в частности и каустобиолитов в целом. Рассмотрению этой проблемы и посвящена предлагаемая статья.

Термины 'углеродистые отложения' и 'черные сланцы' часто считают синонимичными [1, 3]. Обычно это породы, содержащие в повышенных концентрациях V, U, Au, Ag, Cu, Fe, P, Mo, Cr и другие элементы. Определениям 'углеродистые отложения' — по-видимому, из-за новизны термина — и 'черные сланцы' — из-за неопределенности понятия самого предмета — нет исчерпывающего объяснения в отечественной справочной литературе.

Так, термин 'carbonaceous', согласно «Толковому словарю английских геологических терминов», это „1. Углистый, углеродистый. Породы или осадки, богатые углеродом, в частности угли. 2. Осадки, содержащие органическое вещество” [4]. Богатыми углеродом, то есть углеродистыми, являются и известковые ('calcareous') породы, поэтому термин 'углеродистые сланцы' не вполне однозначен.

В «Геологическом словаре» указаны только „сланцы черные ураноносные” — глинистые или углеродисто-кремнистые сланцы, в которых

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

Публикуется в дискуссионном порядке. — *Ред.*

содержание урана превышает кларковое примерно на два порядка [5]. В зарубежных литературных источниках термины 'black shales' и 'black slates' ('черные сланцы'), наоборот, широко используются в литологии для обозначения пород от докембрийских до современных. Заметим, что в докембрийских образованиях ОВ преимущественно метаморфизовано — до графитовых сланцев [6].

Считается, что черные сланцы — это «темные, обычно очень тонко-слоистые углистые сланцы, исключительно богатые органическим веществом (содержание углерода достигает 5 % и более) и сульфидами...» [4]. В то же самое время „5 % и более” толкуются и как ненормально высокое для сланцев содержание углерода [7]. Однако для черных сланцев указываются и такие пределы содержания ОВ, как от 1 до 20 %, а в их чистых углистых прослоях и до 85 % [8]. В [9] было предложено выделять по содержанию углерода три группы черных сланцев: низкоуглеродистые (1—3 %), углеродистые (3—10 %) и высокоуглеродистые (< 10 %).

Распространено мнение, что углеродистые сланцы образуются в процессе метаморфизма в результате карбонизации как горючих сланцев, так и битуминозных и углистых пород, причем в качестве границы между горючими и углеродистыми сланцами принимается выход смолы, составляющий 10 % от горючей массы породы [10]. Согласно другой точке зрения, термин 'углеродистые сланцы' объединяет термины 'горючие сланцы', 'черные сланцы', 'битуминозные сланцы', 'шунгитовые сланцы', 'графитовые сланцы' и так далее, ОВ которых относится к сапропелевому ряду [11].

Большинство авторов относят черные сланцы к углеродистым отложениям морского [12] или аквагенного [9] происхождения, иногда в их число включают и миграционные породы — антраксолиты [13]. Отметим также, что черные сланцы могут относиться и к гумусовым образованиям [14]. То, что черные сланцы являются углистыми [4], было упомянуто выше. Но углистое вещество может или принадлежать к гумитам генетически, или просто иметь высокое содержание ОВ ( $\geq 50\%$ ), весьма характерное для углей и, напротив, исключительно нехарактерное для черных сланцев. Поэтому углистыми следовало бы считать гумитовые сланцы.

Очень часто черные сланцы связывают с высокометаморфизованными породами. В то же время имеет место деление этих сланцев на неметаморфизованные и метаморфизованные типы [8]. Иногда черными называют малометаморфизованные сланцы — в отличие от графитовых [15].

Как следует из приведенного выше и далеко не исчерпывающего обзора, понятия 'черные сланцы' и/или 'углеродистые сланцы' толкуются по-разному, иногда диаметрально противоположно. Такова терминологическая практика сегодняшнего дня. Следует напомнить и то, что термин 'горючие сланцы' до сих пор недостаточно точно регламентирован, его развитие продолжается стихийно, причем по разным руслам. Налицо тенденция уточнения терминов 'горючие сланцы' и 'черные сланцы' в сторону расширения их объема [9, 16]. То же самое происходит и с широко употребляемыми терминами, например, 'гуминовые кислоты' и 'кероген'.

Широкое распространение термина 'черные сланцы', несмотря на его кажущуюся бессмысленность в геологическом плане, объясняется тем, что это типичный термин свободного пользования [9]. Относительно термина 'горючие сланцы', точнее его английского эквивалента 'oil shale' ('смоляной сланец') очень часто высказывается мнение, что обозначаемое им образование не содержит смолы и часто не является сланцем (см., например, [17]). Я. Э. Юдович справедливо отмечает, что терминологические запреты в таких сложных ситуациях бессмыс-



ленны, и предлагает провести между неуглеродистыми породами и черными сланцами условную границу по однопроцентному содержанию органического углерода. В работе [18] обосновано проведение примерно такой же границы между породами, богатыми ОВ ('черными') и бедными им ('серыми') — 2% ОВ по объему.

Добавим, что минимальным содержанием органического углерода, которое необходимо для генерации в осадочных отложениях углеводородов в ощутимых количествах, считается 0,5%, что соответствует примерно 1,7% ОВ по объему [19]. Что касается цвета сланцев, то он во многом зависит от содержания ОВ (или углерода), с одной стороны, и степени окисления железа в сланцах — с другой (рис. 1). Черный цвет характерен только для тех сланцев, в которых содержание органического углерода составляет примерно 3% [20]. Если сланцы содержат более 3—5% углерода, их цвет зависит уже от цвета самого ОВ (например, кукурситу ОВ придает желтую окраску).

Термины 'черные сланцы' и 'горючие сланцы', по крайней мере формально, относятся к сланцам, поэтому следует рассмотреть толкование и термина 'сланцы'. В «Геологическом словаре» сказано, что сланцы — это общее название для метаморфических пород наиболее слабых степеней метаморфизма, формирующихся в условиях эпизоны Губенманна или фации зеленых сланцев [5]. По степени же преобразования ОВ в фации зеленых сланцев находится на шунгитовой и графитовой стадиях, то есть, по представлениям углехимии, является, наоборот, наиболее высокометаморфизованным.

А. Н. Заваридский (1961 — приводится по [5]) предложил отличать сланцы низких степеней метаморфизма (метаморфические сланцы) от кристаллических. В «Советском энциклопедическом словаре» также различают сланцы двух типов: метаморфические, или кристаллические, и неметаморфизованные (мергельные, глинистые, углистые, битуминозные, горючие) [21].

Отметим также, что термин 'сланцевая промышленность' обозначает отрасль промышленности, исходным сырьем которой являются горючие сланцы. В таком случае термин 'сланцы' выступает синонимом термина 'горючие сланцы'.

Во многих источниках отмечается, что 'shale' ('сланец') — это уплотненная глина, сланцеватая глина или глинистый сланец [4]. Однако

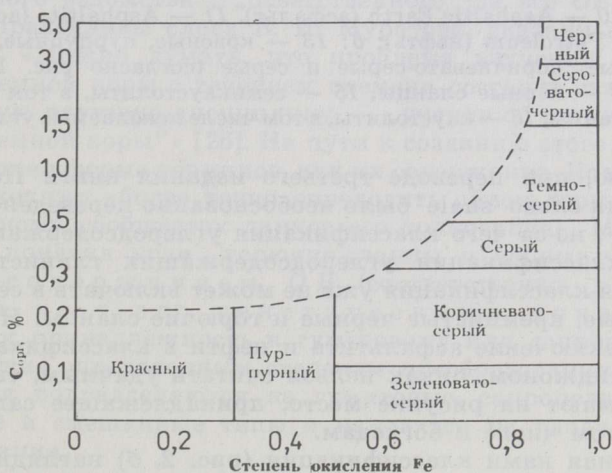


Рис. 1

Зависимость цвета сланцев (определяли цвет влажных образцов при естественном освещении) от содержания органического углерода  $C_{орг}$  и степени окисления железа (мольная доля  $mFe^{++}/(mFe^{++} + mFe^{+++})$ ), по [20]

имеется возможность перевести 'shale' не только как 'глинистый сланец', но и просто как 'сланец' [22].

Интересная классификация и номенклатура углеродсодержащих осадков была приведена Ф. Дж. Петтиджем (рис. 2 [23]), причем он указал, что источник классификации ему неизвестен. В связи с этой классификацией важно отметить, что, по мнению М. С. Швецова, термин 'сланцы' «не дает никакого представления о составе породы, не говоря о других ее свойствах, так как сланцы могут быть и известковые, и аргиллитовые, и кремнистые, и иные, в том числе прежде всего „кристаллические”» [24]. Поэтому нами слово 'shale' в этой классификации было переведено по контексту как 'сланец', а не как 'глинистый сланец', как это часто практикуется.

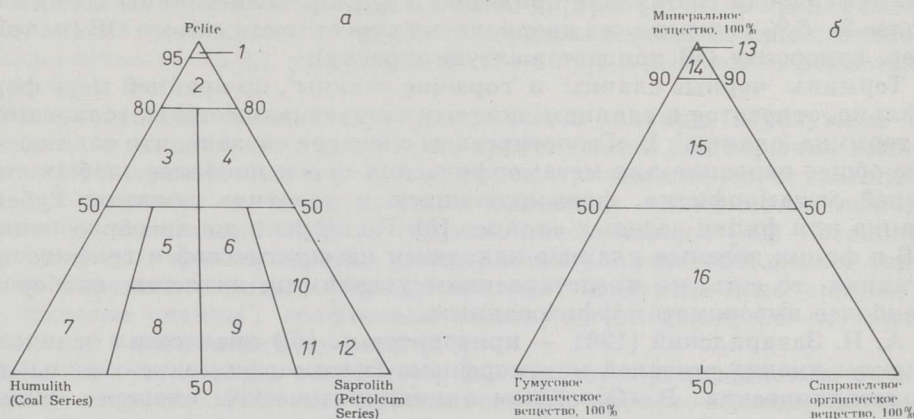


Рис. 2

Классификация и номенклатура углеродсодержащих осадочных пород по неизвестному источнику, приведенному в книге Ф. Дж. Петтиджона [23] (а) и та же классификация, видоизмененная и упрощенная нами (б); а: 1 — Shale (сланец), 2 — Black Shale (черный сланец), 3 — Bone Coal (зольный уголь), 4 — Oil Shale (горючий сланец), 5 — Cannel Shale (кеннельский сланец), 6 — Boghead Cannel Shale (богхед-кеннельский сланец), 7 — Coal Series (угольные пласты), 8 — Cannel Coal (кеннель), 9 — Boghead Cannelite (богхед кеннель), 10 — Asphaltic Earth (асфальт), 11 — Asphaltite (асфальтит), 12 — Petroleum (нефть); б: 13 — красные, пурпурные, зеленовато-серые, коричневатые-серые и серые (согласно рис. 1 [20]) сланцы, 14 — черные сланцы, 15 — семикаустолиты, в том числе горючие сланцы, 16 — каустолиты, в том числе ископаемые угли

К сожалению, при переводе третьего издания книги Петтиджона на русский язык слово 'shale' было необоснованно переведено как 'глинистый сланец', из-за чего классификация углеродсодержащих пород сузилась до классификации углеродсодержащих глинистых пород (см. [25]). Такая классификация уже не может включать в себя, например, известковые, кремнистые черные и горючие сланцы. Необходимо добавить, что включение асфальтита и нефти в классификацию, приведенную Петтиджемом, никак нельзя считать удачным, так как эти нефти занимают на рисунке место, принадлежащее сапропелитовым углям, в том числе и богхедам.

Представленная нами классификация (рис. 2, б) наглядно показывает, в какой ряд располагаются названия пород по мере увеличения содержания в них ОВ. На рисунке, приведенном в книге Петтиджона, сланцы имеют переход в черные сланцы, а последние, в свою очередь, — в зольные угли (можно также сказать, в углистые горючие сланцы) и (сапропелитовые) горючие сланцы. Породы с наибольшим содержа-



нием ОВ называются углями, точнее гумитовыми и сапропелитовыми углями.

Содержание ОВ как технологический показатель для углей и горючих сланцев (особенно для последних) — предмет широкого обсуждения. Граница между углями и горючими сланцами сугубо конвенциональна: в углях содержание ОВ превышает 50 %; 10—50-процентное содержание ОВ в горючих сланцах обосновано нами ранее [16]. Нельзя не отметить, что были также попытки установить нижние пределы для горючих сланцев по теплотворной способности, содержанию органического углерода, а также по выходу смолы полукоксования. Установив границу между углями и горючими сланцами по содержанию ОВ, границу между горючими и черными сланцами уже не следует проводить, например, по теплотворной способности или по выходу смолы полукоксования, а между черными и „серыми” сланцами — по содержанию органического углерода. Все границы должны быть определены на основании одного критерия. Обращаем внимание читателя на то, что черные сланцы не подразделены (рис. 2, а) на гумитовые и сапропелитовые. На этом рисунке гумусовое и сапропелевое ОВ различаются только начиная с горючих сланцев и это деление распространяется и на угли. Однако принцип построения такой классификации дает полное право выделить также гумитовые и сапропелитовые черные сланцы. В упрощенной классификации (рис. 2, б) мы этим правом не пользуемся, поскольку наша цель — максимально просто показать границы между ископаемыми углями и горючими сланцами, между горючими и черными сланцами и между черными сланцами и сланцами „других цветов”.

'Угли', 'горючие сланцы', 'черные сланцы', 'углеродистые сланцы' — это наиболее частые термины для обозначения пород, содержащих ОВ. Все они, если исключить из рассмотрения термин 'угли', относятся к семейству терминов, содержащих слово 'сланец'. Однако принадлежность различных осадочных пород к сланцам иногда формальна. Поэтому время от времени термины сланцевого семейства вызывают серьезные возражения со стороны исследователей. Основание для возражений дают не сами термины, а практика определения понятий отдельных видов топлив в отрыве как от остальных их видов, так и от других пород, содержащих ОВ. Это вполне объяснимо, поскольку нет „научного ведомства”, „ответственного” за все ОВ земной коры. Поэтому справедливы слова В. И. Муратова, сказанные им не столь уж давно: «Можно думать, что проблема изучения органического вещества земной коры с течением времени составит самостоятельную обобщающую научную дисциплину — „учение об органических образованиях земной коры”» [26]. На пути к созданию этого учения важна не так внешняя форма терминов, как их содержание. Как было указано в [9], необходимо «более точно определить объем термина и предложить научному сообществу данное его толкование». Мы предлагаем соотносить понятия 'угли', 'горючие сланцы' и 'черные сланцы' с определенным содержанием ОВ (соответственно  $\geq 50$ , 10—50 и 1—10 %), а не с его генетическими показателями, такими, как принадлежность к гумусовому или сапропелевому типу и соответствие определенным степеням преобразования. Ведь все эти образования подразделяются на гумитовые, сапропелитовые, липтобиолитовые и смешанные типы и находятся на различных стадиях преобразования.

К углям не относятся торфы и графиты, к горючим сланцам — сапропели и графиты. В отличие от углей и горючих сланцев, черные сланцы считаются находящимися и на торфяной (сапропелевой), и на графитовой стадии.

Характерная для современной науки тенденция к интеграции знаний

уже давно требует разработки единой терминологии хотя бы для таких важных пород, как угли, горючие сланцы, а также черные сланцы.

Учение об органических образованиях земной коры ждет своих создателей. Теоретические же его основы давно уже заложены в учении о биосфере В. И. Вернадским, 125-летие со дня рождения которого мы отмечаем в 1988 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Углеродистые отложения докембрия и нижнего палеозоя и их рудоносность: Тез. докл. Всесоюз. семинара; г. Фрунзе, 11—13 октября 1978 г. — Фрунзе, 1978.
2. Геохимия, минералогия и литология черных сланцев: Сб. научн. тр. — Сыктывкар, 1987.
3. *Созинов Н. А., Сидоренко С. А., Дерягин А. А.* О металлоносности углеродистых формаций докембрия // Проблемы осадочной геологии докембрия. М., 1979. Вып. 5. С. 206—216.
4. Толковый словарь английских геологических терминов. — М., 1977—1979. Ч. 1—3.
5. Геологический словарь. — М., 1978. Т. 1—2.
6. A Dictionary of Geology by J. Challinger. — New York et al., 1974.
7. *Curtis C. D.* Diagenetic alteration in black shales // J. geol. Soc. London. 1980. V. 137, Part 2. P. 189—194.
8. *Альтгаузен М. Н., Успенский В. А.* Геохимия углеродистого вещества нижнепалеозойских «черных» сланцев // Углеродистые отложения докембрия и нижнего палеозоя и их рудоносность. Фрунзе, 1978. С. 19—21.
9. *Юдович Я. Э., Красавина Т. Н., Беляев А. А.* Органическое вещество черных сланцев Пай-Хоя и севера Урала // Горючие сланцы. 1986. Т. 3, № 2. С. 143—155.
10. Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР. — М., 1978. Т. 12.
11. *Созинов Н. А., Сидоренко С. А., Розен О. М.* Формационные типы углеродистых сланцев // Горючие сланцы (Геохимия и литология). Таллин, 1975. С. 15—16.
12. *Ермолаев Н. П., Созинов Н. А.* Стратиформное рудообразование в черных сланцах. — М., 1986.
13. *Сидоренко А. В., Сидоренко С. А., Созинов Н. А.* Углеродистые формации докембрия // Углеродистые отложения докембрия и нижнего палеозоя и их рудоносность. — Фрунзе, 1978. С. 9—11.
14. *Кухаренко Т. А.* Химия и генезис ископаемых углей. — М., 1960.
15. *Джордж Р. Д.* Происхождение сланцев // Сланцы / Х. Р. Мак-Ки. М.; Л.; Новосибирск, 1934. С. 18—26.
16. *Вески Р. Э.* Расширенное понимание термина «горючие сланцы» // Горючие сланцы. 1986. Т. 3, № 2. С. 113—120.
17. *Saxby J.* Oil shale in Australia // Energy Resources and Technology. — 1980. V. 2, N 5. P. 30—34.
18. *Schmoker J. W.* Organic content of Devonian shale in Western Appalachian Basin // Am. Assoc. Petr. Geol. Bull. 1980. V. 64, N 12. P. 2156—2165.
19. *Tissot B. P., Welte D. H.* Petroleum Formation and Occurrence: a New Approach to Oil and Gas Exploration. — New York, 1978.
20. *Potter P. E., Maynard J. B., Pryor W. A.* Sedimentology of Shale. Study Guide and Reference Source. — New York et al., 1980.
21. Советский энциклопедический словарь. — М., 1982.
22. *Żutka R.* Geological Dictionary. — Warszawa, 1970.
23. *Pettijohn F. J.* Sedimentary Rocks. — New York, 1957.
24. *Швецов М. С.* Петрография осадочных пород. — М.; Л., 1948.
25. *Петтиджон Ф. Дж.* Осадочные породы. — М., 1981.
26. *Муратов В. Н.* Геология каустобиолитов. — М., 1970.

Представил К. Э. Уров  
Поступила в редакцию  
12.08.1987

Институт химии  
Академии наук Эстонской ССР  
г. Таллин



## BLACK AND CARBONACEOUS SHALES AND THEIR RELATIONSHIP WITH OIL SHALES

The title terms are one of the most contradictory ones used to note organic formations of the earth's crust. The corresponding home reference books do not give the terms 'черные сланцы' ('black shales') and 'углеродистые сланцы' ('carbonaceous shales'). According to the foreign reference literature the term 'black shale' is used in lithology to note metamorphosed Cambrian up to recent rocks. It is sometimes stated that metamorphosed graphitic shales do not belong to black shales [15]. The organic content of the latter reaches 5% or more [5], or 1—20%, sometimes even 85% [8].

Black shales together with oil bituminous, shungite and graphitic shales are often accounted carbonaceous shales whose organic matter is represented by homologs of sapropelic series [11], including also migrational types — anthraxolites [13]. Some researchers are of the opinion that carbonaceous shales are formed in the process of metamorphism from both oil shales and bituminous and coal rocks [10]. Black shales have also been taken for humic formations [14]. However, most authors consider them to be carbonaceous sediments of marine or aquagenic origin [12, 9].

Based on investigations of the dependence of shale colour on carbon content and degree of oxidation of iron [20], as well as on the principle of classification of coals, oil and black shales [9, 16] and differentiation between oil shales, coals and rocks with dispersed organic matter [23, 25], we have concluded that the notions 'угли' ('coals'), 'горючие сланцы' ('oil shales') and 'черные сланцы' ('black shales') are not genetic ones, since the corresponding organic formations may be subdivided into sapropelic, humic, liptobiolitic and mixed types of different degree of transformation.

Taking into consideration that the terms 'угли' ('coals') and 'горючие сланцы' ('oil shales') are economic notions we suggest organic content-based differentiation between them and black shales, i. e.  $\geq 50$ , 10—50 and 1—10%, correspondingly.

*Institute of Chemistry,  
Academy of Sciences of the Estonian SSR  
Tallinn*