

А. И. ГИНЗБУРГ, Е. Ф. ФИЛАТОВ, И. А. ЛЕТУШОВА

**ХИМИКО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА
ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ МАРОККО (МЕСТОРОЖДЕНИЕ ТИМАХДИ)**

Из всех известных на территории Королевства Марокко месторождений и проявлений горючих сланцев наибольший интерес представляет месторождение Тимахди. Значительные запасы полезного ископаемого, несложные горно-геологические условия отработки и относительно благоприятное географо-экономическое положение ставят его в разряд первоочередных. Это месторождение изучалось и раньше [1, 2], но планомерное его исследование при содействии специалистов Советского Союза началось в 1970 г.

Месторождение Тимахди расположено в Среднем Атласе, в 180 км к Ю-ЮВ от г. Рабата. В геологическом отношении оно представляет собой две относительно крупные синклинальные структуры — Кубат и Анжер, — разделенные узкой, резко сжатой антиклиналью Хайана и тектоническим нарушением сбросового типа. Обе синклинальные структуры сложены отложениями верхнего мела и трансгрессивно на них расположены палеоценовыми образованиями [1].

Синклиналь Кубат вытянута в субширотном направлении и имеет размеры около 20—22 км вдоль оси и порядка 8 км в размахе крыльев. Угол падения пород северного крыла синклинали очень пологий и обычно не превышает 4—6°. Падение южного крыла также пологое, вертикальное положение пород наблюдается лишь непосредственно вблизи зоны тектонического нарушения. Слагающие синклиналь отложения представлены сантонским, кампанским и маастрихтским ярусами сенона. Литологически они сложены чередующимися слоями и прослоями известняков, мергелей, мергелистых известняков и реже песчаников. Керогенсодержащие мергели и горючие сланцы приурочены к маастрихтскому ярусу.

Практический интерес представляет, по-видимому, только средняя часть маастрихта. Эта часть разреза получила название сланценосной пачки. Она довольно хорошо выдерживается по простиранию и имеет мощность 60—66 м и лишь в замковой части структуры не более 20 м. По литологическому признаку сланценосная пачка условно разделена на три серии — нижнюю, среднюю и верхнюю. Нижняя сланцевая серия (мощность 6—19 м) литологически представлена крепкими мергелистыми керогенсодержащими сланцами серого и светло-серого цвета. Средняя сланцевая серия (4—21 м) характеризуется частым чередованием (переслаиванием) черных горючих сланцев, серых мергелистых керогенсодержащих сланцев и горизонтов, сложенных крупными конкрециями карбонатного состава. Верхняя сланцевая серия (8—26 м) представляет собой частое чередование слоев мергелистых керогенсодержащих сланцев темно-серого и светло-серого цвета. Содержание органического вещества здесь меньше, чем в нижней серии, и значительно меньше, чем в средней. Для минеральной части пород этой серии характерно несколько повышенное содержание Al_2O_3 и SiO_2 , а в верхней ее части отмечается повышенное содержание P_2O_5 (до 10—13%).

В настоящей работе изучали образцы горючих сланцев, отобранные из отложений всех сланцевых серий. Задачей исследования было выявление генетических особенностей органического вещества (керогена) и состава минеральной основы горючих сланцев, а также определение петрографических типов горючих сланцев и характера распределения их в стратиграфическом разрезе углепетрографическими и углехимическими методами [3].

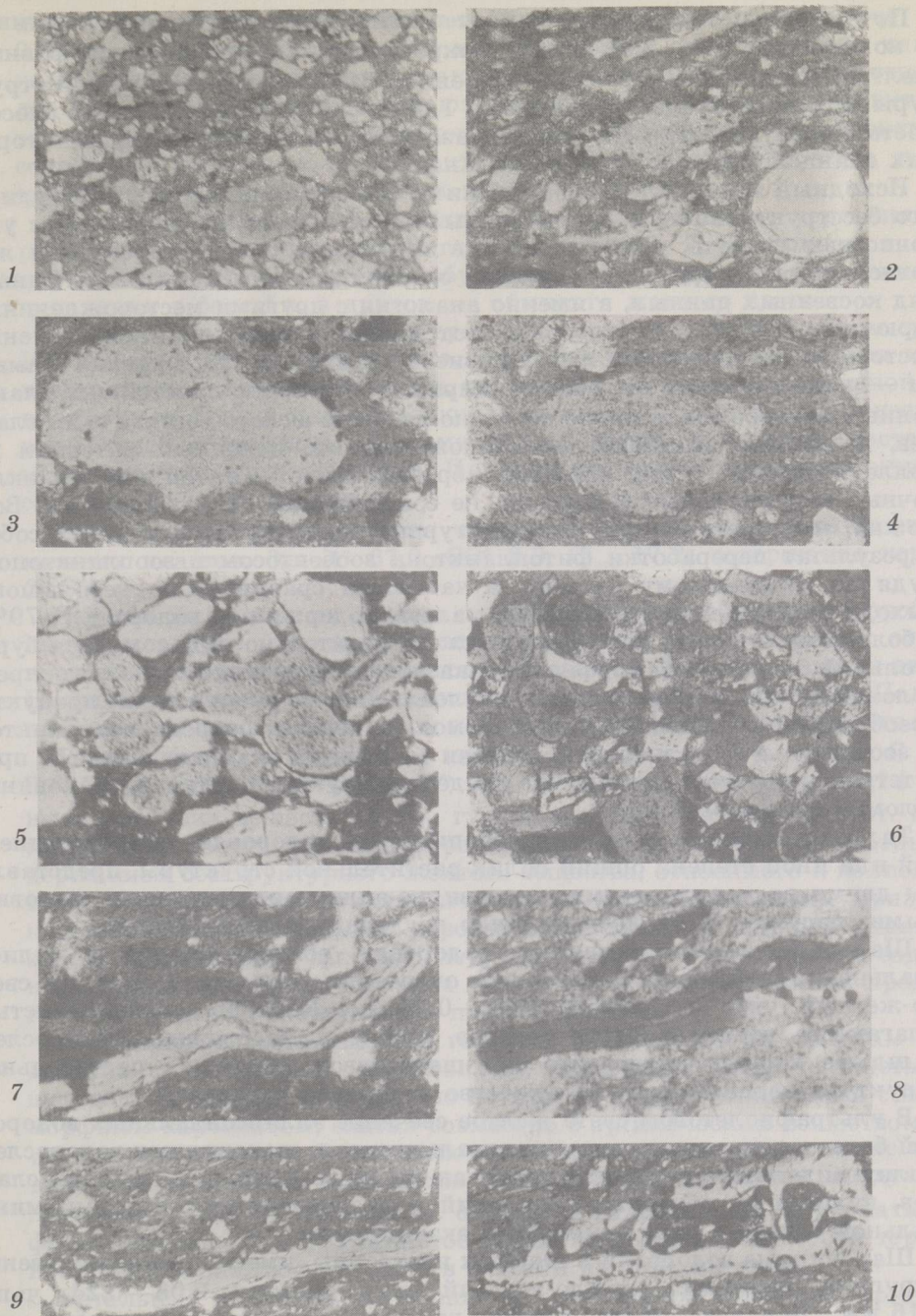
Под микроскопом изучали различные препараты горючих сланцев, а именно шлифы из породы и концентратов и аншлифы из концентратов. Большую часть препаратов — шлифы из горючих сланцев — исследовали под обычным поляризационным микроскопом МИН-8 с электрическим источником света в проходящем свете при 70—500-кратном, а в отдельных случаях и большем увеличении. Для просмотра рудных минералов и определения отражательной способности органических микрокомпонентов на приборе ПООС были приготовлены аншлифы-брикеты из керогена (два препарата). Органическое вещество в штафах и комбинированных шлифах изучали под микроскопом МЛ-1 в ультрафиолетовом свете при 100—200-кратном увеличении, а препараты из концентратов — под обычным поляризационным микроскопом обычно в проходящем, иногда параллельно в проходящем и отраженном свете при увеличении до 900 раз с глицериновой иммерсией. По этим препаратам определяли количество микрокомпонентов в керогене.

В работе использованы результаты элементарного и технического анализов керогена, выполненных в углехимической лаборатории Всесоюзного научно-исследовательского геологического института старшим инженером И. А. Легушовой, а также данные Е. Ф. Филатова о теплотворной способности горючих сланцев и содержании в них золы, углекислоты и серы.

Горючие сланцы Марокко, слагающие основные пласты, довольно однообразны. Они преимущественно темно-серые с различными оттенками, всегда массивные, однородные и, как правило, не содержат видимых невооруженным глазом органических и минеральных включений. Излом их неровный, а в отдельных случаях с признаками раковистого. Все образцы плохо загорались от спички, но при тлении издавали запах жженной резины. Изучаемые сланцы содержат 15—28% керогена, имеют теплотворную способность на горную массу в пределах 2931—10 132 кДж/кг, карбонатность (по содержанию CO_2) в среднем 10,6% (3,9—21%), содержание серы общей 1,35 (0,5—2,83), сульфидной 0,37% (0,10—1,0%). Выход смолы полукоксования достигает 14%.

Кероген состоит преимущественно из альгинита. Присутствие в нем микрокомпонентов других групп в значительной степени проблематично, поскольку они или составляют доли процента, или вообще не установлены [4, 5]. В группе альгинита преобладает бесструктурное желтое вещество, условно полностью относимое к коллоальгиниту. Оно составляет 98—99% от общего объема керогена. Талломоальгинит встречается преимущественно в единичных экземплярах и керогенообразующим является лишь в отдельных пластах.

Коллоальгинит почти всегда находится в дисперсной смеси с глинистым веществом и пелитоморфным карбонатом и очень редко сочетается только с глинистым веществом или только с карбонатом (рисунок, 1, 2). Соотношение этих минеральных компонентов в дисперсной смеси с коллоальгинитом самое различное. Как правило, коллоальгинит в шлифах из горючих сланцев со значительным содержанием пелитоморфного карбоната более желтого цвета, чем в смеси с глинистым веществом, когда он приобретает коричневатый оттенок. Под люминесцентным микроскопом глинисто- или глинисто-карбонатное коллоальгинитовое вещество слабо люминесцирует желтовато-серым светом, причем более интенсивно в случае преобладания дисперсной карбонатной примеси.



1, 2 — микроструктура известково-глинистого коллоальгинитового горячего сланца: 1 — шаровидно-эллипсоидальная водоросль и много обломков карбонатов, $\times 80$; 2 — примерно в центре овальная водоросль, обломки известковой микрофауны, ромбиды доломита и зерна кальцита, $\times 220$; 3, 4 — шаровидно-овальная водоросль и обломки известковых минералов, $\times 220$; 5, 6 — микроструктура известково-глинистого талломоколлоальгинитового горячего сланца: округлые тела — проблематичные шаровидные водоросли, некоторые в центре пиритизированы; белые угловатые включения — зерна кварца и кальцита, $\times 220$; 7 — светлое вытянутое образование, условно отнесено к мегаспоре, $\times 220$; 8 — темное вытянутое образование — окисленная мегаспора, $\times 220$; 9, 10 — обломки фосфата (коллофан), $\times 80$

Почти полностью очищенный от минеральной части коллоальгинит в концентрате (A^d 8,6%) под микроскопом характеризуется ровным желтым цветом и однородным строением без следов растительной структуры. Его показатель преломления 1,664—1,672, отражательная способность в воздухе 4,6%. По этим показателям стадия метаморфизма горючих сланцев Марокко — буроугольная.

Исходный материал коллоальгинита, как правило, трудно определить. Его бесструктурность и однообразный желтый цвет не позволяют с уверенностью сказать, какие исходные организмы растительного или животного происхождения послужили основой для его накопления. Однако ряд косвенных данных, а именно аналогия с другими месторождениями горючих сланцев, для которых этот вопрос с той или иной степенью достоверности разрешен, присутствие в сланцах месторождения Тимахди — хотя и в единичных экземплярах — бесспорно простейших планктонных водорослей, а также особенности химического состава этих сланцев, позволяют высказать предположение, что исходный материал их коллоальгинита — это, главным образом, фитопланктон или одноклеточные колониальные водоросли, не сохранившие своего строения. Возможно, что частично это бесструктурное вещество представляет собой и результат переработки фитопланктона зообентосом и зоопланктоном. Судя по химическому составу, в частности сравнительно небольшому выходу летучих веществ (75,3%), малому содержанию водорода (7,79%) и большому — азота (2,67%), а также относительно высокому для буроугольной стадии метаморфизма показателю преломления, можно предположить, что в образовании коллоальгинита участвовали продукты преобразования животных организмов, в первую очередь зоопланктон и зообентос и — в меньшей степени — нектонные организмы. О присутствии животных организмов свидетельствуют известковые раковины, обломки фосфатов и др.

Талломоальгинит, или микроскопические водоросли, сохранившие в той или иной степени общий облик растительной структуры, представлены двумя разновидностями: шаровидно-эллипсоидальными и шаровидными (рисунок, 3, 4), хотя наличие последних проблематично.

Шаровидно-эллипсоидальные водоросли обычно имеют в шлифе овальные или близкие к овальным очертания (рисунок, 1, 2, 5, 6), светло-желтый цвет и диаметр 0,04—0,24 мм. Контуров слабо волнистые. Слагающее вещество более рыхлое, чем у шарообразных водорослей, в шлифе хорошо видно, что оно шагреневое. Типичная растительная структура неразличима, но вещество водоросли губчатое.

В ультрафиолетовом свете желтое свечение эллипсоидальных водорослей более интенсивное, чем у коллоальгинита и шаровидных водорослей. Эллипсоидальные водоросли встречаются во всех пластах горючих сланцев, никогда не образуют скоплений и распределяются в органо-минеральной основе в виде единичных экземпляров.

Шаровидные водоросли в шлифах изотропны, имеют преимущественно округлые очертания, светло-желтый цвет, диаметр 0,08—0,24, чаще 0,16 мм. Контуров почти совсем гладкие, слагающее вещество при 100—300-кратном увеличении плотное, при большем — рыхлое. Следы характеризующей простейшие водоросли растительной структуры не обнаружены. Некоторые экземпляры этих водорослей частично, преимущественно в средней части, минерализованы кальцитом, а иногда и пиритом. В ультрафиолетовом свете они имеют различное по интенсивности, чаще не очень сильное желтоватое свечение. Показатель преломления 1,566. Эта разновидность водорослей была установлена лишь в некоторых пластах горючих сланцев, где они равномерно распределены в органо-минеральной основе, составляя примерно 30—50% от общего объема.

К псевдовитриниту относятся мелкие тонкие линзочки красновато-коричневого цвета. Контуров их очень ровные, вещество плотное, однород-

ное, бесструктурное, не люминесцирующее. Длина линзочек не более 0,20 мм, толщина не более 0,02 мм. По цвету и очертанию они напоминают обычный Δ -витринит, однако их размеры и полное отсутствие следов растительной структуры дают основание считать их псевдовитринитом, образовавшимся из остатков донных водорослей. Псевдовитринит составляет десятые доли процента от общего объема керогена и присутствует почти во всех пластах горючих сланцев.

Липоидинит представлен единичными экземплярами, очертания которых напоминают оболочки мегаспор (рисунок, 7, 8), причем в одном случае они коричневые, что обусловлено их сильным окислением до попадания в бассейн, в другом — обычного желтого цвета.

Хитинит объединяет ортосклеротинит, представляющий споры грибов. Почти всегда это мелкие, полые, округлые или овальные тельца коричневого цвета диаметром 0,04 мм, рассеянные в органо-минеральной основе горючего сланца или образующие скопления по несколько экземпляров. Общее количество этого микрокомпонента в керогене составляет менее десятых долей процента. Присутствие ортосклеротинита отмечается почти во всех пластах.

Химическая характеристика горючего сланца из стратиграфически нижних пластов, %: A^a 67,0, CO_2 8,0, $S_{орг.}$ 17,2; содержание керогена 24,3%.

Кероген выделяли из сланца последовательной обработкой пробы соляной, плавиковой и снова соляной кислотой с последующим отмыванием иона хлора сначала декантацией, а затем фильтрованием в воронке Бюхнера до отрицательной реакции с азотнокислым серебром. Полученный кероген представлял собой порошок-пудру темно-коричневого цвета.

Химическая характеристика керогена, % на горючую массу: C 70,82, H 7,79, N 2,67, O+S 18,72. W^a 1,3, A^d 8,6, $S_{общ.}$ 3,8%, $d_{ист.}$ 1,14 г/см³, выход летучих веществ 75,3%, гуминовые кислоты отсутствуют. Петрографически состав керогена характеризуется почти 100-процентным содержанием бесструктурного желтого вещества, относимого к коллоальгиниту. По сравнению с аналогичным по петрографическим признакам керогеном других сланцев, кероген марокканских сланцев характеризуется пониженным выходом летучих веществ, более низким содержанием водорода и более высоким — азота, что дает основание предполагать его животное-растительное происхождение.

Минеральная составляющая горючих сланцев, по результатам исследования ее в шлифах, представлена преимущественно глинистым веществом. Во многих пластах оно находится в дисперсной смеси с пелитоморфным карбонатом, слагаая совместно с органическим веществом основу горючих сланцев. В нее включены структурные органические микрокомпоненты и зерна минералов. Последние представлены следующими группами (табл. 1): сульфиды, окислы и гидроокислы, карбонаты, фосфаты (рисунок, 9, 10). Глинистое вещество представляет собой терригенное образование, поступавшее в бассейн из области сноса.

Детальные исследования внешнего вида, микроструктуры, органо-минерального состава и некоторых технических показателей марокканских горючих сланцев месторождения Тимахди позволили подразделить их на три петрографических типа исходя из минералогического состава сланцеобразующей части и состава керогена: глинистый коллоальгинитовый, известково-глинистый коллоальгинитовый, известково-глинистый таллоальгинитовый (табл. 2).

Первый и второй петрографические типы характеризуются одинаковым керогеном и различным минеральным составом; третий петрографический тип отличается от них составом керогена, а от первого — еще и составом минеральной части (табл. 2). В известково-глинистом коллоальгинитовом горючем сланце золы всегда меньше, а углекислого газа и серы больше, чем в глинистом коллоальгинитовом. По имеющимся данным, теплотворная способность при одинаковом или близком содер-

Группа минералов	Минерал	Распространенность в различных петрографических типах горючих сланцев	Размерность, мм	Тип минеральных компонентов, по вероятным условиям образования
Сульфиды	Пирит	Во всех типах	0,01—0,02, редко больше или меньше	Диагенетический биогенный тип фрамбоидов, нередко заполняющий известковые раковины или замещающий кальцит
Оксиды и гидроокислы	Кварц	В различных количествах во всех типах, наибольшее количество — в глинистом коллоальгинитовом	Алевритовая 0,08—0,24	Терригенный
	Опал	В пластах со своеобразной шаровидной микрофауной	0,04	Органогенный
	Лимонит	Почти во всех типах, в виде вкраплений; железистые ореолы вокруг зерен кварца исключительно в глинистом коллоальгинитовом	0,01—0,02, иногда меньше или больше	Аутигенный (позднее диагенетический)
Карбонаты	Кальцит	Часто, в различных количествах во всех типах, больше — в глинисто-карбонатном коллоальгинитовом	0,02—0,10, обломки раковин имеют большие размеры	Аутигенный, органогенный (обломки фауны)
	Доломит	Часто, преимущественно в глинисто-карбонатном коллоальгинитовом	0,04, редко больше	Аутигенный
	Карбонат пелитоморфный*	В смеси с глинистым веществом в глинисто-карбонатном и карбонатно-глинистом коллоальгинитовом	Микрозернистый	Аутигенный, хемогенный
Фосфаты	Коллофан	Отдельные обломки во всех типах	От очень мелких размеров до 1,5	Органогенный (обломки скелетов рыб)
Силикаты и алюмосиликаты	Глинистое вещество	Сланцеобразующее, во всех типах	Пелитовая	Терригенное
	Глауконит	Единичные включения	Сотые доли	Аутигенный сингенетический
	Плагиоклаз	Единичные включения	Десятые доли	Терригенный

* Внесено в графу минералов условно.

Органо-минеральная характеристика петрографических типов горючих сланцев месторождения Тимахди

Таблица 2

Петрографический тип горючих сланцев	Распространение	Исходный сланец		Микро-компонентный состав керогена, %		Минеральные компоненты											
		Углекислота карбонатов	Сера, %	Теплотворная способность (на породу), кДж/кг	Органическое вещество, %	Коллоидальность	Линистое вещество	Минералы	Кварц	Опал	Пегломорфный	Кальцит, доломит	Пирит	Коллофан			
Глинистый коллоальгинитовый коричневый	Отложения верхней и частично средней серии	13—	76	6,51	1,20	0,25	4551	18	99	1	0	+	+	+	+	+	+
		15															
Известково-глинистый коллоальгинитовый коричневый	Отложения нижней и частично средней серии	10—	64	16,8	1,82	0,52	6414	20	99	1	0	+	+	+	+	+	+
		12															
Известково-глинистый талломо-коллоальгинитовый светлоричневый	Отложения верхней серии	3	77	12,9	0,9	0,10	2675	16	60	40	0	+	+	+	+	+	+

Условные обозначения:
 ○ — очень много,
 □ — много,
 + — всегда присутствуют в относительно небольших количествах,
 + — единичные,
 — не установлены.

жании золы у глинистого и известково-глинистого горючих сланцев одинакова и всецело зависит от содержания в них органического вещества, что объясняется одинаковой природой керогена.

Накопление органического и минерального материала протекало в типично морском бассейне с биогенно-кластогенными и биогенно-хемогенными осадками. Основными обитателями его были планктонные свободно плавающие водоросли, почти не сохранившие своего строения в ископаемом состоянии, и зоопланктон, представленный остатками микроскопических раковин и обломками скелетов рыб. Судя по сохранившимся остаткам рыб и раковинам микрофауны, количество их было достаточно велико.

Накопление известково-глинистого коллоальгинитового горючего сланца протекало в более застойных условиях, чем накопление глинистого коллоальгинитового, который, судя по терригенным зернам кварца и отчетливому преобладанию глинистого материала, образовался хотя и в морском бассейне, но с несколько большей динамикой водной среды.

Почти полное отсутствие аллохтонных органических микрокомпонентов (витринита и фюзинита), а также остатков донных водорослей (псевдовитринита) может служить указанием, что область сланцеобразования была расположена на значительном расстоянии от береговой линии.

Заключение

Химико-петрографическими методами были изучены 40 образцов горючих сланцев Марокко из месторождения Тимахди.

Кероген этих сланцев в преобладающей части пластов сложен коллоальгинитом. Кероген некоторых стратиграфически верхних пластов помимо керогенообразующего коллоальгинита в значительном количестве содержит своеобразный талломоальгинит. Коллоальгинит образовался, главным образом, за счет фитопланктона, частично переработанного зоопланктоном и зообентосом. Кроме того, в коллоальгините преобладают продукты преобразования животных организмов, в первую очередь зоопланктона. Источником образования керогена служили исключительно обитатели бассейна, в котором происходило накопление всей сланцевосной формации.

Отличия химического состава керогена этого сланца от состава керогена других горючих сланцев, также состоящих из коллоальгинита, вероятно, обусловлены присутствием продуктов преобразования животных организмов. По этим показателям кероген марокканских сланцев не может быть определен в какой-либо класс существующего проекта классификации, предложенного для горючих сланцев растительного происхождения.

Минеральная составляющая сланцев глинистая или известково-глинистая. Независимо от состава минеральной основы сланца, в ней всегда присутствуют пирит, терригенный кварц, глауконит, кальцит, доломит, обломки раковин кальцитового состава и обломки фосфатов.

Марокканские горючие сланцы в основном характеризуются однотипным керогеном (преимущественно коллоальгинитовым) и различным качественным и количественным составом минеральной части, что позволило подразделить их на три петрографических типа.

Настоящая работа — первый этап петрографического изучения горючих сланцев Марокко. Многие вопросы требуют более детальных исследований и на большем объеме материала. В первую очередь это относится к диагностике исходного материала керогена, составу минеральной части горючих сланцев и химическому изучению керогена из различных пластов.

1. Зеленин Н. И., Озеров И. М. Справочник по горючим сланцам. Л., 1983.
2. Hilali E. Geologie et ressources en schistes bitumineux du Maroc. Monographie SEGM. Rabat, 1967.
3. Гинзбург А. И. Методы петрографического изучения органического вещества горючих сланцев. — В кн.: Формации горючих сланцев. Таллин, 1973, с. 98—105.
4. Гинзбург А. И., Котлуков В. А. Материалы к генетической классификации горючих сланцев и сланценосных формаций. — Там же, с. 141—154.
5. Гинзбург А. И. Органическое вещество петрографических типов горючих сланцев. — Литология и полезные ископаемые. 1969, № 4, 39—52.

Всесоюзный научно-исследовательский
геологический институт
г. Ленинград

Представил К. Уров
Поступила в редакцию
11. 01. 1984

A. GINZBURG, E. FILATOV, I. LETUSHOVA

CHEMICAL AND PETROGRAPHIC CHARACTERISTICS OF THE TIMAHDIT OIL SHALES OF MOROCCO

Chemical and petrographic investigations of the Morocco oil shales carried out for the first time have shown that kerogen is formed mainly by colloalginite the parent material for the latter being phytoplankton. The chemical composition of the kerogen is as follows, %: 0.82 of C, 7.79 of H, 2.67 of N, 3.8 of S; V 75.3%; calorific value reaching 10.132 kJ/kg and oil yield 14%.

Somewhat unusual chemical composition of kerogen against other colloalginite-containing oil shales may be due to the presence of transformation products of animal organisms. The Morocco oil shales are characterized by kerogen of similar composition, different composition and mineral content permitting three petrographic types to be distinguished.

A. P. Karpinsky All-Union Geological
Research Institute (VSEGEI)
Leningrad