

В. ПУУРА, А. МАРТИНС, М. К. БААЛЬБАКИ, К. АЛЬ-КХАТИБ

### ПРОЯВЛЕНИЯ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ НА ЮГЕ СИРИЙСКОЙ АРАБСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Горючие сланцы, наряду с фосфоритами, весьма широко распространены в Средиземноморской провинции, где связаны, в основном, с карбонатными и кремнистыми формациями шельфовых морей позднемезозойского и раннекайнозойского океанического бассейна Тетис. На Ближнем Востоке сланцы этого возраста известны в различных районах распространения юрских, меловых и палеогеновых отложений [1].

Нами предварительно изучены проявления горючих сланцев позднемелового (маастрихтского) и среднепалеогенового (эоценового) возраста на юге Сирии. С конца XIX—начала XX вв. в литературе упоминаются горючие сланцы глубокой эрозионной долины р. Ярмук, где обнажаются эоценовые отложения. Обнажения маастрихтских отложений в этом бассейне известны на территории Иордании, а на юге Сирии они залегают глубоко и в 1982—1983 гг. были вскрыты бурением. Общая мощность разрезов сланценосных толщ эоцена и маастрихта достигает там нескольких сот метров, однако данные о площадном распространении и изменчивости качества сланцев по вертикали и латерали недостаточны даже для приблизительной оценки их запасов (равно как и ресурсов сланцевой смолы). Ввиду наиболее высокого качества маастрихтские сланцы заслуживают серьезного внимания как первоочередной объект дальнейшего изучения.

Из обнажений и кернов буровых скважин отобрано 15 штуфных проб, характеризующих разные типы горючих сланцев из трех разрезов буровых скважин. Они изучались в лабораториях Института геологии и Института термофизики и электрофизики (ИТЭФ) Академии наук Эстонской ССР, Управления геологии ЭССР и Тартуского государственного университета (ТГУ). Полевые наблюдения и лабораторные исследования свидетельствуют о достаточно выдержанном минеральном составе сланценосных толщ маастрихта и эоцена. Это морские мелоподобные известняки с примесью сапропелевого керогена и тонкими прослоями кремней в эоцене. Относительно постоянство вещественного состава и генезиса позволяет даже по малочисленной коллекции проб охарактеризовать их главные особенности.

Залегание сланцепроявлений иллюстрируется разрезом (рис. 1). Сланценосными являются маастрихтские (скважины *H 2* и *Y 21*), нижнеэоценовые (скв. *H 2*) и среднеэоценовые (скв. *Y 1*) отложения. Возраст отложений оценен на основе изучения микрофауны — планктонных фораминифер — Крашенинниковым (Геологический институт Академии наук СССР).

Петрографическими исследованиями образцов под микроскопом установлено, что по основной массе (минеральной матрице) маастрихтские и эоценовые отложения весьма сходны и относятся к группе афанитовых мелоподобных известняков. В сланцах обычно наблюдается микрослоистость или прерывистая микрослоистость, реже — параллельная слоистость, и лишь иногда она не обнаруживается вообще. Характер слоистости обусловлен распределением мелких известковых скелетов фораминифер и детрита, содержание которых достигает 10, редко 15%.



Рис. 1

Схематический геологический разрез маастрихтских и эоценовых отложений бассейна р. Ярмук в широтном направлении: I — скважина Н 2, II — У 1, III — У 21. Условные обозначения: 1 — горючий сланец, 2 — керогеновый известняк, 3 — базальт

По данным химического анализа, органическое вещество (ОВ) в маастрихтских сланцах составляет обычно 14—23,5%. В четкой обратной корреляции с содержанием ОВ в пробе находится плотность породы (рис. 2), что вообще характерно для горючих сланцев. Образцы пород нижнего и среднего эоцена содержат 6—8% ОВ и, соответственно, отличаются от маастрихтских повышенной плотностью. Массовое отношение С/Н ОВ маастрихтских сланцев составляет 6,0—8,0, эоценовых — 5,4—6,2. В целом, отношение С/Н изученных проб обычно больше при большем содержании ОВ.

Органической серы в пробах маастрихтского сланца 1,3—2,5, в пробах эоценовых пород 0,4—0,9%. Имеется корреляция между содержанием

Таблица 1

Минеральный состав неорганической части горючих сланцев и керогеновых пород, по данным рентгендифрактометрического анализа, %\*

| Возраст, порода (скважина)                   | Кол-во проб | Кальцит   | Доломит | Кварц    | Апатит   | Каолинит | Иллит | Палыгорскит | Пилрит  | Гейландит |
|--|-------------|-----------|---------|----------|----------|----------|-------|-------------|---------|-----------|
| Средний эоцен, керогеновые известняки (У 1)  | 4           | 84,8—91,7 | 0—6,9   | 0,4—0,7  | 0—7,6    | —        | 0—4,7 | —           | —       | 0—2,2     |
| Нижний эоцен, керогеновые известняки (Н 2)   | 2           | 77,6—83,1 | 3,4—4,3 | 6,4—10,1 | 4,0—6,4  | 0—1,9    | —     | —           | 0,7—1,4 | —         |
| Маастрихт—нижний эоцен, горючие сланцы (Н 2) | 2           | 77,9—83,8 | 0—1,4   | 1,1—9,1  | 5,7—19,0 | —        | —     | 0—2,0       | —       | —         |
| Маастрихт, горючие сланцы (У 21)             | 7           | 76,2—91,2 | 0—10,2  | 1,6—5,8  | 0—9,6    | 1,5—7,4  | 0—7,2 | —           | 0—3,6   | —         |

\* Определения выполнены К. Утсалом в кабинете минералогии ТГУ.

Плотность, г/см<sup>3</sup>

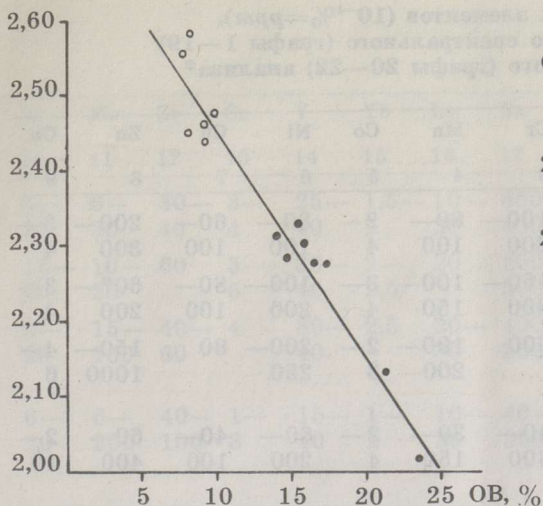


Рис. 2

Корреляция между плотностью и содержанием ОВ: Условные обозначения здесь и на рис. 3—5:

● — пробы маастрихта,  
○ — эоцена

ОВ, %

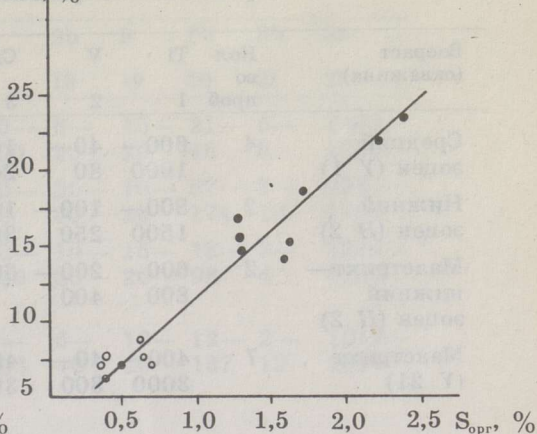


Рис. 3

Корреляция между содержанием ОВ и серы органической

в пробе органической серы и ОВ (рис. 3). Серы других форм (сульфидной, сульфатной) тоже больше в пробах с большим содержанием ОВ. Общее ее количество (сумма органической, сульфидной и сульфатной серы) в маастрихтских пробах 0,7—2,9, в эоценовых 0,75—1,4%.

Минеральный состав неорганической части изученных проб маастрихтских и эоценовых пород, по данным рентгеноструктурного анализа, однотипный и характеризуется исключительно высоким содержанием карбонатов (78—96%) и особенно кальцита (76—91%) при обычно малом и изменчивом содержании доломита (табл. 1). Отмечаются также низкое содержание кварца (1—9%) и глинистых минералов (0—9%), присутствие в маастрихтских образцах каолинита (1,5—7,5% в пробах из скв. У 21) и практическое отсутствие гидрослюда. Пирит обнаружен рентгеноструктурным анализом лишь в небольшой части проб. Специфическая и весьма примечательная особенность большинства изученных проб — значительное (2—19% от неорганической части пробы) содержание апатита. В трех пробах эоценовых пород из разреза скважины У 21 обнаружен весьма редкий минерал — гейландит (0,5—2,3%).

С минеральным составом и количеством ОВ маастрихтских горячих сланцев согласуются величина зольности (53,7—60,8%) и выделение CO<sub>2</sub> карбонатного (24,8—40,2% в условиях полного разложения карбонатов). То же самое наблюдается и у эоценовых пород (соответственно, 57,1—61,9 и 32,1—38,0%). Значительно содержание CaO: в маастрихтских пробах 32,3—47,4, эоценовых 39,9—47,7%. MgO в обеих породах в пределах 0,16—3,0, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,3—3,3, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,4—2%, сумма щелочей (Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O) до 0,3%. По отношению SiO<sub>2</sub> / (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+CaO+MgO), равному 0,05—0,35, продукты прокаливания (шлаки) пород бассейна р. Ярмук относятся к группе основных и весьма тугоплавких [3].

Результаты определения содержания малых элементов в пробах (табл. 2) дают общее представление о их содержании в разновозрастных отложениях, но пока еще статистически непредставительны для количественного сравнения. В целом, все изученные объекты мало различаются содержанием малых элементов, что свидетельствует о близости фациальных условий осадконакопления.

**Содержание малых элементов ( $10^{-4}\%$  = ppm),  
по данным эмиссионного спектрального (графы 1—19)  
и рентгеноспектрального (графы 20—22) анализа\***

| Возраст<br>(скважина)               | Кол-<br>во<br>проб | Ti<br>1      | V<br>2      | Cr<br>3     | Mn<br>4     | Co<br>5 | Ni<br>6     | Cu<br>7    | Zn<br>8      | Ga<br>9  |
|-------------------------------------|--------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|---------|-------------|------------|--------------|----------|
| Средний<br>эоцен (У 1)              | 4                  | 600—<br>1000 | 40—<br>80   | 100—<br>200 | 80—<br>100  | 2—<br>4 | 80—<br>100  | 60—<br>100 | 200—<br>300  | 3—<br>4  |
| Нижний<br>эоцен (Н 2)               | 2                  | 800—<br>1500 | 100—<br>250 | 150—<br>300 | 100—<br>150 | 3—<br>4 | 100—<br>200 | 80—<br>100 | 60?—<br>200  | 3—<br>4  |
| Маастрихт—<br>нижний<br>эоцен (Н 2) | 2                  | 600—<br>800  | 200—<br>400 | 600         | 100—<br>200 | 2—<br>3 | 200—<br>250 | 80         | 150—<br>1000 | 4—<br>6  |
| Маастрихт<br>(У 21)                 | 7                  | 400—<br>3000 | 40—<br>300  | 40—<br>300  | 30—<br>150  | 2—<br>4 | 60—<br>200  | 40—<br>100 | 60—<br>400   | 2—<br>10 |

\* Определения выполнены В. Варес в центральной лаборатории Управления геологии ЭССР.

Содержание ОВ в изученных маастрихтских пробах обычно равно 14—23,5%. Для наиболее качественных (ОВ 17% и более) определены высшая теплота сгорания  $Q_s^i$  (5,65—7,58 МДж/кг) и выход смолы по Фишеру (6,8—11,7%) (табл. 3). Выход смолы из органического материала 40—50%. Фактические (по бомбе) и расчетные (по содержанию С,

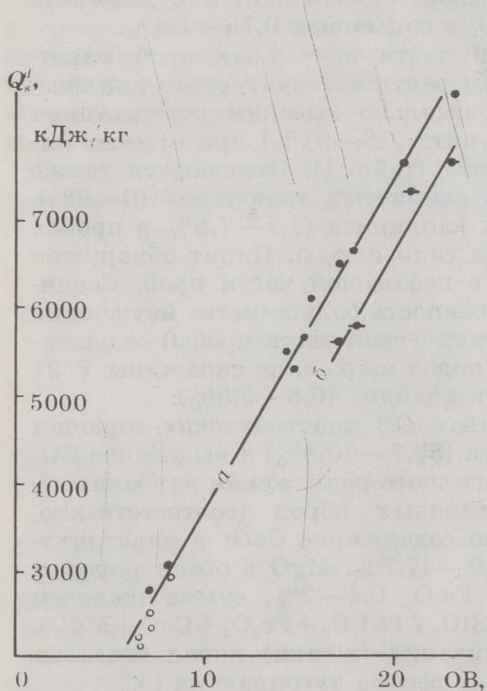


Рис. 4  
Корреляция между теплотой сгорания и содержанием ОВ:  
а — теплота сгорания рассчитана по содержанию С, Н, S,  
б — определена по бомбе (здесь и на рис. 5)

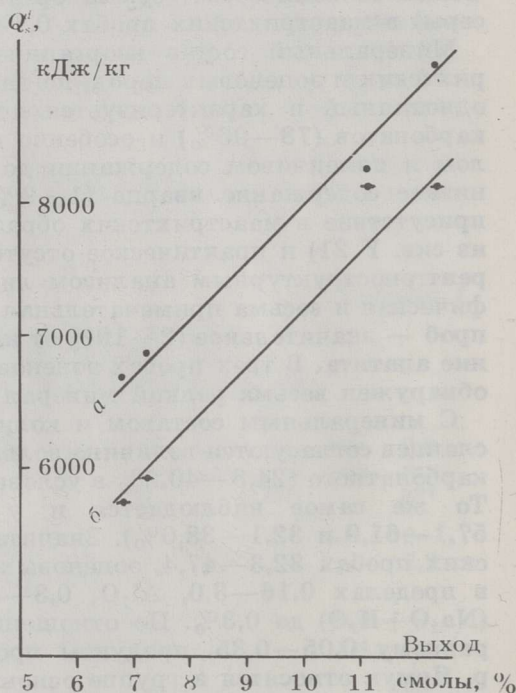


Рис. 5  
Корреляция между теплотой сгорания и выходом смолы по Фишеру

| Sn    | Mo     | Zr     | Sc  | Y     | Yb    | La    | Ba       | Sb    | B     | Pb     | Rb   | Sr        |
|-------|--------|--------|-----|-------|-------|-------|----------|-------|-------|--------|------|-----------|
| 10    | 11     | 12     | 13  | 14    | 15    | 16    | 17       | 18    | 19    | 20     | 21   | 22        |
| 6—15  | 6—30   | 30—40  | 3—4 | 25—40 | 1,5—2 | 10—20 | 600—4000 | 6—20  | 15—20 | 21—48  | 5—6  | 1402—1710 |
| 15—30 | 10—25  | 60     | 3—6 | 30—40 | 2—2,5 | 20    | 200—300  | 20—30 | 10—20 | 67—174 | 7—10 | 998—1104  |
| 6—20  | 15—150 | 40—60  | 4   | 30—40 | 2,5   | 20—30 | 400—3000 | 10—30 | 15—20 | 18—98  | 3—4  | 1210—1239 |
| 6—20  | 6—200  | 40—100 | 1—8 | 15—40 | 1—2   | 10—30 | 40—2500  | 6—40  | 10—20 | 12—137 | 2—12 | 1019—1614 |

Н и  $S_{\text{орг}}$ ) значения теплоты сгорания хорошо согласуются между собой (рис. 4), равно как и теплота сгорания и выход смолы в пробах (рис. 5). Выход смолы из эоценовых пород с малым содержанием ОВ (6—8%) лабораторными методами не определяли, но, вероятнее всего, он не превышает 2—4%. Согласно обзору Эпика (см. табл. 6 работы [5]), для освоения перспективных сланцев с выходом смолы не менее 4—7%.

Классификация прибалтийских горючих сланцев (ордовикских кукерситов) по составу учитывает весовые соотношения главных компонентов: ОВ, карбонатных минералов (кальцит + доломит) и терригенного материала (кварц + полевые шпаты + глинистые минералы) — см. таблицу работы [4]. На диаграмме (рис. 6) показана изменчивость состава промышленных слоев кукерсита и прослоев и включений керогенсодержащих известняков промышленной пачки Эстонского и Ленинградского

Таблица 3

Содержание органического вещества,  
теплота сгорания и выход смолы проб  
горючих сланцев бассейна р. Ярмук\*

| Глубина, м    | Проба            | Содержание ОВ, % | Теплота сгорания по бомбе, кДж/кг | Выход масла, % |
|---------------|------------------|------------------|-----------------------------------|----------------|
| Скважина У 21 |                  |                  |                                   |                |
| 181,1—181,4   | C <sub>1-1</sub> | 15               | Не опред.                         | Не опред.      |
|               | C <sub>1-2</sub> | 14               | «                                 | «              |
| 201,6—202     | C <sub>2</sub>   | 23,5             | 7581                              | 11,7           |
| 260—264       | C <sub>3</sub>   | 14,5             | Не опред.                         | Не опред.      |
| 341,2—341,5   | C <sub>4</sub>   | 17               | 5647                              | 6,8            |
| 411,7—420     | C <sub>5</sub>   | 15,5             | Не опред.                         | Не опред.      |
| 446—506       | C <sub>6</sub>   | 19,5             | «                                 | «              |
| Скважина Н 2  |                  |                  |                                   |                |
| 158,7—159,0   | C <sub>10</sub>  | 18               | 5793                              | 7,4            |
| 189,0         | C <sub>11</sub>  | 21,5             | 7292                              | 10,6           |

\* Определены Э. Калласте и др. в ИТЭФ АН ЭССР.

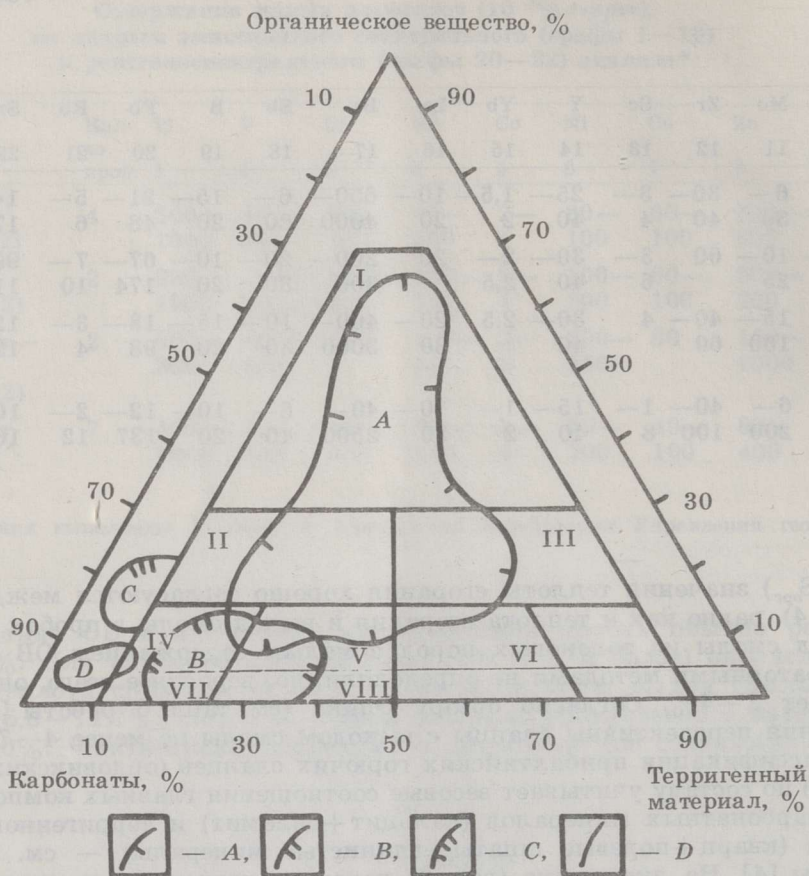


Рис. 6

Трехкомпонентная диаграмма — классификация сланцев-кукерситов и вмещающих пород промышленной пачки Прибалтийского бассейна по составу (по [4]): A — слои кукерсита, B — прослои и включения известняка. На этой же диаграмме показан состав маастрихтских горючих сланцев (C) и эоценовых керогеновых известняков (D) бассейна р. Ярмук

месторождений. Использование этой классификации для пород бассейна р. Ярмук затрудняется высоким содержанием в них апатита и, местами, пирита. Однако, если элиминировать содержание этих минералов, то по соотношениям ОВ карбонатных минералов и терригенного материала как горючие сланцы маастрихта, так и керогеновые породы эоцена занимают на классификационной диаграмме особое положение, обусловленное их высокой карбонатностью. Для маастрихтских горючих сланцев используемую классификационную диаграмму следует дополнить полем высокоизвестковых горючих сланцев (ОВ 15—30, карбонатов 60—85 и терригенного вещества 0—10%), а для эоценовых пород — полем керогеновых известняков (5—15, 75—95 и 0—10%, соответственно). Учитывая изменчивое (иногда весьма высокое — до 15%) содержание апатита, в дальнейшем, вероятно, целесообразно будет выделять типы пород с различным содержанием этого минерала.

Итак, опробованные слои разреза эоценовых отложений не могут рассматриваться как собственно горючие сланцы и, в соответствии с клас-

сификацией пород промышленной пачки Прибалтийского бассейна кукуерситов, относятся к группе керогеновых пород (являются керогеновыми известняками). Не исключена все же возможность обнаружения в эоценовых толщах более богатых керогеном горючих сланцев, имеющих валовый минеральный состав, сходный с составом изученных образцов. Об этом свидетельствуют исторические данные и факт возгорания в 1980 г. древних отвалов эоценовых пород у устья железнодорожного тоннеля.

Оценивая качество горючих сланцев, необходимо учитывать содержание в них вредных компонентов, прежде всего серы. В маастрихтских сланцах бассейна р. Ярмук содержание серы, в пересчете на ОВ, составляет около 10%. Это больше, чем в используемых горючих сланцах Прибалтики (в кукуерситах 5—6%), но меньше, чем в сланцах Поволжья (16%) [2]. Полученное из маастрихтских сланцев жидкое топливо, вероятно, будет отличаться высоким содержанием серы. При сжигании этих сланцев в топках электростанции можно ожидать связывания в дымовых газах выделяющихся сернистых соединений ( $SO_2$  и др.) со свободным  $CaO$ , в большом количестве образующимся при сжигании высокоизвестковых сланцев. Это будет существенно содействовать очистке дымовых газов.

В заключение следует отметить, что все данные свидетельствуют о накоплении органического материала в маастрихте и эоцене в бассейне р. Ярмук в морских условиях. Общая обстановка осадконакопления, несмотря на очевидный, по палеонтологическим данным, длительный палеоэоценовый перерыв в седиментации, в течение маастрихта—эоцена оставалась приблизительно одинаковой, что отражается в однотипном высокоизвестковом валовом составе, характерной примеси фосфатного компонента, распределении минералов и малых элементов. По литологическим критериям седиментация проходила в достаточно глубоководном морском бассейне и спокойной гидродинамической обстановке. По значительным мощностям и однотипному литологическому составу сланценосных отложений темпы седиментации оцениваются как достаточно высокие для платформенного региона, а интенсивность дифференцированных тектонических движений — как достаточно слабая. Относительная интенсивность накопления ОВ была большей в маастрихте.

С точки зрения перспектив обнаружения промышленных залежей лучшего качества первостепенный интерес вызывает мощная толща маастрихта, представленная преимущественно высокоизвестковыми горючими сланцами и, вероятно, в меньшей степени керогеновыми известняками. Маастрихтские горючие сланцы юга Сирии по качеству схожи с наиболее распространенными в мире (см. табл. 6 работы [5]). По имеющимся данным, они близки и маастрихтским горючим сланцам центральной части Иордании (выход смолы 10%), проекты освоения которых уже разрабатываются. При современных технологических возможностях маастрихтские горючие сланцы юга Сирии перспективны для сжигания в топках парогенераторов тепловых электростанций, а сланцы лучшего качества — для получения искусственного жидкого топлива.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. M. Kh. Baalbaki, B. Shirmer. Preliminary Geological Study about Bituminous Rocks and Oil Shale in the S. A. R. Damascus, 1980.
2. Энергетическое топливо СССР / Справочник. М., 1979.
3. Ю. Л. Маршак. Топочные устройства. М., 1966.
4. А. Аалоз, Х. Вийдинг. Литологическая классификация пород промышленной пачки кукуерсита. — Изв. АН ЭССР. Геол., 1983, 32, № 4, 157—162.

5. И. Эпик. Современное состояние мировых ресурсов горючих сланцев и проекты их использования. — Изв. АН ЭССР. Геол., 1982, 31, № 2, 42—55.

*Институт геологии  
и Институт электрофизики и термофизики  
Академии наук Эстонской ССР  
г. Таллин*

*Главное управление геологии  
и минеральных ресурсов Сирийской Арабской Республики  
г. Дамаск*

*Представил Д. Кальо  
Поступила в редакцию  
11. 04. 1984*

V. PUURA, A. MARTINS, M. Kõ. BAALBAKI, K. AL-KHATIB

### ОCCURENCE OF OIL SHALES IN THE SOUTH OF SYRIAN ARAB REPUBLIC (SAR)

Mezozoic and Cainozoic carbonate and siliceous-carbonate shelf deposits of the Mediterranean area often serve as oil shale-fields. In the Middle East they have been found in Jurassic, Cretaceous, Paleogene and Neogene deposits. The authors have studied Maestrichtian (Upper Cretaceous) and Eocene (Middle Paleogene) oil shale and kerogenous rocks in the Yarmouk Wadi Basin near the southern border of Syria (Fig. 1). Studies of 15 samples, taken from boring sections in 1982—1983 have been carried out in the research laboratories of the Estonian SSR.

Thickness of oil shale-bearing layers in the Yarmouk Wadi Basin reaches several hundreds of metres. The kerogen content in Maestrichtian samples and in the lowermost part of Middle Eocene deposits (oil shale) is 14—23.5%, that of other Lower and Middle Eocene deposits (kerogenous rocks) is 6—8%. The composition of the inorganic part of kerogenous rocks changes little, usually looking like that of limestone. The amount of faunal skeletal remains in it is 10—15%. The data of X-ray diffraction analysis (Table 1) show that carbonates (mostly calcite, 79—91%) form 78—96% of the mineral part, the content of quartz (1—9%) and clay minerals is lower (0—9% in some samples, with kaolinite reaching 7.5%) and apatite occurs frequently (2—19%). Ash content of Maestrichtian oil shale is 53.7—60.8%, that of Eocene rocks accounts for 57.1—61.9, CO<sub>2</sub> content is 24.8—40.2 and 32.1—38.0%, respectively. In its chemical composition the ash of Syrian oil shale belongs to a basic and rather refractory group. An admixture of numerous trace elements has been determined by the spectral analysis. However, their concentrations are relatively low (Table 2).

According to the data of the chemical analysis the organic matter content in Maestrichtian oil shale is characterized by the C/H ratio (by mass) 6.0—8.0, but in Eocene rocks it is 5.4—6.2. Caloric values (obtained with a bomb) for the Syrian oil shales with the highest organic matter content (17—23.5%) account for 5.65—7.58 kJ/kg, the oil yield (Eischer's assay) reaching 6.8—11.7% (Table 3). With retorting 40—50% of the total amount of organic matter turns into oil. The general sulfur content in the oil shale is 0.7—2.9% (organic sulfur reaches 2.5% and in kerogenous rocks 0.75—1.4% (up to 0.9%), respectively.

Syrian oil shale is characterized by a carbonate-rich mineral part, high phosphate content and a relatively high sulfur content. On the basis of caloric value and oil yield one can distinguish intervals in the section of Maestrichtian oil shales corresponding in its quality to the most wide-spread type in the world. Oil shales of the Yarmouk Wadi Basin suit for burning in steamgenerator furnaces of power-stations but those of the first-rate quality may be used for obtaining liquid fuel.

*Academy of Sciences of the Estonian SSR,  
Institute of Geology  
and Institute of Electrophysics and Thermophysics  
Tallinn  
Head Board of Geology and Mineral Resources  
of Syrian Arab Republic  
Damascus*