

<https://doi.org/10.3176/oil.1985.2.01>

УДК 552.57

*В. А. КОТЛУКОВ, Г. А. ПЕЛЫМСКИЙ, Л. М. ПРОКОФЬЕВА*

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ В ИСТОРИИ ЗЕМЛИ

Эпохи формирования горючих сланцев столь же характерны для истории Земли, как и эпохи формирования углей, эвапоритов или залежей осадочных железных руд.

Накопление планктоногенного (сапропелевого) органического вещества (ОВ) — исходного материала керогена горючих сланцев, — начавшись в середине архея, особенно мощно проявилось в конце ранне-го протерозоя. В фанерозое выделяются шесть эпох сланцеобразования, из них четыре приходятся на палеозой и по одной — на мезозой и кайнозой.

### Докембрий

Самой древней эпохой накопления ОВ в осадочных толщах докембрия можно считать эпоху с абсолютным возрастом 3,7—3,5 млрд. лет. Тогда образовались углеродсодержащие черные сланцы Кольского полуострова, Украинского кристаллического щита, Сибирской платформы, Северной Америки, Западной Гренландии, Южной Африки и других регионов мира [1—3]. Следующая эпоха имеет возрастные границы 2,8—2,6 млрд. лет. Ее углеродсодержащие свиты известны на Урале, Тянь-Шане, Кузнецком Алатау, Анабарском массиве, Канадском щите, в Южной Америке. Глобальной эпохой накопления ОВ следует считать интервал 2,1—1,7 млрд. лет. К ней относятся шунгиты Карелии. Отчетливо выделяются также эпохи с возрастными границами 1000—900 и 750—700 млрд. лет.

В разрезе докембрия обогащенные углеродистым веществом геосинклинальные толщи мощностью от сотен до нескольких тысяч метров группируются в две углеродистые формации [3]: первая сложена ассоциацией первично-хемогенных и хемогенно-терригенных пород, вторая состоит из первично-хемогенных, хемогенно-терригенных и вулканогенных пород. В формации первого типа содержание углеродистого вещества достигает 25, второго — 65%. Докембрийские горючие сланцы не сохранили своего первичного состава, поскольку их ОВ в процессе метаморфизма превратилось в высокоуглеродистые графит или шунгит, в которых летучие компоненты отсутствуют.

Высокоуглеродистые черные сланцы встречаются во многих районах мира, и в частности во всей восточной части Балтийского щита. Так, в Онежском синклинии они занимают площадь в 8 тыс. м<sup>2</sup>. На месторождении Загогино нижний шунгитовый пласт имеет мощность 17—27 м и содержит 40—75% органического углерода, а верхняя шунгитовая линза характеризуется мощностью до 80 м и 25—55%-ным содержанием органического углерода. По простиранию пород шунгитовые сланцы переходят в туфиты, что свидетельствует о подводном вулканизме. Отметим, что в одном метре выше нижнего пласта шунгитов находится известняково-доломитовый пласт, содержащий многочисленные остатки примитивных одноклеточных микро-



водорослей. Скорость накопления шунгитов в Заонежье составляла 3 мм в тысячу лет. По подсчетам И. В. Лопатина, запасы шунгитовых сланцев в этом районе равняются  $65 \cdot 10^9 \text{ м}^3$  (145 млрд. т) [4]. Скорость накопления ОВ — 2—4 кг  $\text{C}_0/\text{м}^2$  в тысячу лет.

С поздним рифеем и вендом связано накопление планктонного ОВ в ряде регионов мира: сланцы Носач в Северной Америке, ураноносные сланцы месторождений Африки, фосфоритоносные сапропелиты провинции Синань в Китае и др.

В СССР наиболее древние типичные горючие сланцы отмечены в платформенных отложениях валдайской серии венда (680—570 млн. лет) в Приднестровье, где они встречаются в виде тонких прослоев среди морских фосфатоносных буровато-зеленых и черных аргиллитов. Эти сланцы содержат до 10% летучих, 23% углерода и имеют зольность 67% [5, 6]. К позднему протерозою относятся также малгинские сланцы северо-восточного склона Алданского массива, отдельные тонкие прослои которых имеют потенциальный выход смолы до 5%.

### Палеозой

В палеозое выделяются четыре эпохи сланценакопления: ранне-среднекембрийская, ранне-среднеордовикская, позднедевонско-раннекаменноугольная и позднепермская [7].

**Ранне-среднекембрийская эпоха** характеризуется концентрацией ОВ в осадках эпиконтинентальных морей на Балтийском щите и Сибирской платформе, а также в геосинклинальных бассейнах Казахстана и Киргизии. На платформах ОВ накапливалось в открытых морях нормальной солёности в относительно глубоководных условиях. Мощность сланценосной свиты на Балтийском щите (Норке, Швеция) составляет несколько десятков метров, среднее содержание керогена — 28%.

На территории СССР наиболее мощное в фанерозое сланцеобразование происходило 550—520 млн. лет назад на Сибирской платформе (Оленекский и Синский бассейны). Оленекские сланцы (куонамская свита  $\text{Є}_{1-2}$ ) связаны с известково-кремнистыми породами в юго-восточном обрамлении Анабарского щита. Их продуктивная толща имеет мощность 25 м и на одну треть состоит из горючих сланцев, дающих 5—12% смолы и отличающихся значительным содержанием битумоидов и повышенным — золота. Исходным материалом ОВ этих сланцев были циановые водоросли, акритархи, частично фитобентос и зоопланктон. По оптимальным подсчетам, запасы Оленекского бассейна составляют 849 млрд. т при сланцеплотности 4—10  $\text{т}/\text{м}^2$  [8]. Богатство фауны трилобитов и сортировка терригенного материала свидетельствуют о стабильности и относительной глубоководности седиментационного бассейна с нормальной солёностью [9].

Аналогичный характер имеет сланценосность Синской площади на северном склоне Алданского щита, слабо изученная в отдельных обнажениях по рекам Синия и Мая.

**Ранне-среднеордовикская эпоха** — время образования диктионемовых сланцев тремадока ( $\text{O}_1$ ) Швеции и северо-запада Русской платформы. Они сформировались в промежутке 508—503 млн. лет в ходе раннеордовикской трансгрессии. В Северной Эстонии мощность их достигает 7,5 м, площадь распространения составляет 10 тыс.  $\text{км}^2$ , запасы — 63 млрд. т, сланцеплотность — 6  $\text{т}/\text{м}^2$  [8]. Коричнево-черные диктионемовые аргиллиты отлагались в застойном морском водоеме (в них много пирита), заселенном синезелеными водорослями и граптолитами. Скорость осадконакопления была порядка 1—1,5 мм в ты-

сячу лет. Аргиллиты содержат железо, серу, алюминий, калий, ванадий, фосфор, тяжелые металлы и другие элементы и являются ценным комплексным сырьем. Однако как горючее ископаемое они низкосортны, поскольку дают очень малый выход смолы — 3%.

В Эстонии и Ленинградской области, на 25—30 м выше диктионемовых сланцев, в разрезе среднего ордовика (466—459 млн. лет) находятся горючие сланцы кукерситы, по качеству одни из лучших в мире. Они содержат от 30 до 70% керогена, дающего 40—70% смолы. Скорость их отложения в открытом море с богатой фауной трилобитов, мшанок, брахиопод и др. составляла 1—2 мм в тысячу лет. С. С. Бауков подсчитал, что масса чистого керогена в кукерситах и — в рассеянном виде (5—10%) — в сопутствующих им известняках на площади в 40 тыс. км<sup>2</sup> составляет 50 млрд. т [10].

Геосинклинальные черные граптолитовые сланцы ордовикского возраста встречаются в Аппалачах и Кордильерах (Северная Америка). Они образуют там прослой между известняками и доломитами ордовикского возраста. Эти сланцы встречаются также в Андах в Южной Америке.

**Позднедевонско-раннекаменноугольная эпоха** характеризуется накоплением ОВ исключительно на платформах (Восточно-Европейская, Сибирская и Северо-Американская).

На Восточно-Европейской платформе в это время образовались доманиковые горючие сланцы франского яруса (370—360 млн. лет), которые известны на востоке платформы. Их литологический состав весьма сложен: среди них встречаются как карбонатные, так и глинистые терригенные разновидности. Они образуют многочисленные, но небольшие, быстро выклинивающиеся линзы при мощности продуктивного горизонта от 20 до 150 м. Содержание ОВ в сланцах доманика 10—30%. На востоке к их седиментационному бассейну примыкала зона активного вулканизма, что привело к привносу в него массы пеплового материала. Наличие в осадках доманикового моря массовых остатков крылоногих и беззачатковых моллюсков свидетельствует об отсутствии придонного сероводородного заражения. Значительную площадь занимают фаменские горючие сланцы в Припятском прогибе в Белоруссии.

Образование горючих сланцев позднедевонской эпохи связано с трансгрессией моря, которая после длительного предсреднедевонского перерыва охватила большие территории Восточно-Европейской платформы. В сходной геодинамической обстановке произошло накопление в конце среднего палеозоя огромных масс горючих сланцев низкого качества с запасами в триллионы тонн формации Чаттануга в США и Канаде на Северо-Американской платформе. Раннекаменноугольные сланцы распространены на севере Аляски и в штате Монтана. К верхнему девону и нижнему карбону относятся известные горючие сланцы Шотландии и др.

В интервале верхний карбон-нижняя пермь сформировалась группа месторождений в пределах Иртыш-Зайсанской складчатой зоны (Кендерлыкское месторождение и др.). ОВ этих сланцев накапливалось в озерах и лагунах. Мощность сланценосных толщ достигает 1000 м, мощность нескольких пластов горючих сланцев — 20 м при 15—35%-ном содержании керогена. Сланцеплотность высокая — до 10 т/км<sup>2</sup>.

**Позднепермская эпоха** — эпоха формирования месторождений горючих сланцев Северо- и Южно-Американской платформы, Австралийского щита, эпигерцинской платформы Центральной и Западной Европы и ряда других регионов. Для месторождений этого возраста характерна комплексность: пласты горючих сланцев тесно ассоциированы

в разрезе с фосфоритами и эвапоритами, реже с углем. В породах, обогащенных ОВ и фосфором, отмечается значительное содержание цветных металлов. Наиболее существенные запасы пермских сланцев сосредоточены в Северной и Южной Америке.

Горючие сланцы Северной Америки тесно связаны с формацией фшфория, распространенной на огромной территории в западных штатах США. Ее формирование происходило в эпиконтинентальном относительно глубоководном бассейне на краю платформы и, частично, в миогеосинклинальной зоне. В юго-западной части штата Монтана сланцы слагают бассейн площадью 1500 км<sup>2</sup>. Продуктивная толща мощностью до 300 м состоит из многочисленных слоев горючих сланцев мощностью до 2 м. Содержание керогена высокое. Сланцenaкoпление на Северо-Американской платформе связано с трансгрессией, вызванной складчатостью и горообразованием, происходившими в сопряженном с платформой подвижном поясе Кордильер.

На Южно-Американской платформе пермские горючие сланцы приурочены к формации Ирати, простирающейся с севера на юг через всю Бразилию и обладающей вторыми по величине в мире запасами. Бразильские сланцы откладывались во внутреннем бассейне с пониженной соленостью, в мелководных условиях.

Горючие сланцы Австралийского щита (торбаниты) высококачественны (выход смол до 55%). В Африке также известны месторождения, сходные с австралийскими торбанитовыми (Эрмело, ЮАР). Формирование торбанитов происходило в обстановке озер и лагун, в оридных зонах.

### **Мезозой**

В мезозое основное сланцеобразование связано с позднеюрской эпохой. Широкое распространение месторождения этого возраста получили в Волго-Уральской области, Центральной Европе и на Африканской платформе.

Основная масса горючих сланцев позднеюрской эпохи на востоке Русской платформы связана с образованиями волжского яруса (138—132 млн. лет). Мощность продуктивной свиты составляет в среднем 15—25 м, а в отдельных районах достигает 60 и более метров. Суммарная мощность пластов горючих сланцев 4, максимум 10 м. Сланцы сапропелевые, известково-глинистые со средним содержанием керогена 15—30%. Их накопление в позднеюрскую эпоху протекало в мелководном эпиконтинентальном море-проливе, который простирался в меридиональном направлении вдоль западного склона Урала. Общепринято считать, что прогнозные запасы волжских сланцев оцениваются в 35 млрд. т, но, по мнению авторов данной статьи, они значительно больше.

На Африканской платформе крупные (порядка 70 млрд. т) запасы относительно высококачественных верхнеюрских сланцев выявлены в Заире, где они приурочены к песчано-аргиллитовой толще, прослеженной более чем на 1000 км.

Горючие сланцы мелового возраста встречаются на Северо-Востоке СССР, в Монголии, на Аляске, в Австралии, Марокко, Алжире. Наибольшие запасы сланцев этого возраста сосредоточены в бассейне Тулебак на востоке Австралии. Они имеют морское происхождение.

### **Кайнозой**

В основном накопление горючих сланцев в кайнозое приходится на эоцен-олигоцен (палеогеновая эпоха). В это время образовались горючие сланцы крупнейших месторождений — Грин-Ривер (США), Фушунь и другие на Китайской платформе, Рандл и Кондор в Восточной

Австралии, а также менилитовые сланцы Карпат (СССР, ПНР, СРР). В отличие от предшествующих эпох, когда сланцы формировались в условиях полузакрытых морских бассейнов, в палеогеновое время большая часть их образовалась за счет донных отложений крупных озер. Для сланцев этого возраста характерна тесная ассоциация с углями и продуктами вулканизма.

Горючие эоценовые сланцы формации Грин-Ривер распространены на площади в 65 тыс. км<sup>2</sup> и имеют потенциальный выход смолы 4—35%. Мощность продуктивной толщи достигает 600 м. Богатые ОВ пласты сланцев мощностью 3—15 м, дающие выход смолы более 10%, потенциально содержат жидкое топливо в количестве, эквивалентном 85 млрд. т нефти [11]. Скорость накопления сланцев в зоне Парашют-Крик достигала 23 мм в тысячу лет.

На территории СССР имеется очень интересное месторождение палеоцен-эоценового возраста (59—34 млн. лет) — Болтышское. Эта горючесланцевая формация заполняет глубокую кольцевую кальдеру (25×20 км) впадину в кристаллическом Украинском щите (кальдера, астроблема?). Концентрация сланцев здесь настолько велика, что на площади в 360 км<sup>2</sup> сосредоточены запасы в 3,5 млрд. т. Они имеют средний выход смолы 18,6, максимальный 39% и сланцеплотность до 25 т/м<sup>2</sup> и даже больше [8].

По степени метаморфизма большая часть горючих сланцев фанерозоя — кукерситы, волжские и болтышские сланцы, торбаниты, тасманиты и ряд других — не выходит за пределы буроугольной стадии преобразования (диагенез—протокатагенез). Диапазон катагенетической преобразованности палеогеновых сланцев месторождения Грин-Ривер более широк — от буроугольной до жирной стадии (мезокатагенез). Степень преобразованности доманиковых сланцев девона — от длиннопламенной до жирной стадии; фаменские сланцы Припятского бассейна — переходные от бурых к длиннопламенным.

Из схем размещения мировых запасов горючих сланцев (в пересчете на сланцевую смолу) по геологическим периодам фанерозоя видно, что основная масса их ОВ накопилась в позднедевонско-раннекаменноугольную, позднепермскую и палеогеновую эпохи. Все остальные эпохи сланцеобразования, кроме ранне-среднекембрийской, имеют второстепенное значение.

Анализ размещения на земном шаре горючих сланцев фанерозоя и более древних докембрийских углеродистых формаций и условий их образования показывает, что накопление сланцев в докембрии происходило в геосинклинальных зонах, в палеозое — преимущественно на платформах, а к концу фанерозоя сместилось из областей эпиконтинентальных морей в полупресноводные бассейны и озера.

Накопление горючих сланцев в морских бассейнах связано с трансгрессиями, сопровождавшими эпохи складчатости и горообразования в геосинклинальных зонах или следовавшими за ними. Замечена также связь сланцеобразования с вулканической деятельностью и эпохами интенсивного накопления в осадках рассеянных элементов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Докембрий и проблемы формирования земной коры. — М., 1978, с. 9—16.
2. Конюхов А. И. Условия формирования морских углеродистых отложений в различные геологические эпохи. — В кн.: Проблемы осадочной геологии докембрия. Кн. 2; вып. 7. М., 1981, с. 146—153.
3. Розен О. М., Сидоренко Св. А. Формации углеродистых отложений докембрия (опыт анализа). — В кн.: Литология и осадочная геология докембрия. М., 1973.

4. *Лопатин И. В.* Эволюция биосферы и горючие ископаемые. — Изв. АН СССР. Сер. геол., 1979, № 7, с. 5—22.
5. Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР. Т. 2. — М., 1968, с. 37.
6. Прогноз горючих сланцев европейской части СССР / Под ред. В. А. Котлукова и С. С. Баукова. — Таллин, 1974, с. 8, 14.
7. *Пельмский Г. А., Пальшин И. Г., Окиншевич А. Е.* Эпохи сланценокопления в истории Земли. — В кн.: Жизнь Земли. М., 1979, с. 24—35.
8. Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР. Т. 11. — М., 1973.
9. *Демокитов К. К. и др.* Стратиграфия синийских и кембрийских отложений Северо-Востока Сибирской платформы. — Тр. / НИИГА, 1959, 101.
10. *Бауков С. С., Стумбур Х. А.* Геологические условия образования кукерситов. — В кн.: Первое республ. совещ. по геохимии и литологии горючих сланцев : Тез. докл. Таллин, 1975, с. 5—8.
11. *Дункан Д. К., Свенсон В. Е.* Геология и запасы горючих сланцев США. — В кн.: Симп. ООН по разработке и использованию горючих сланцев. Таллин, 1968, с. 1—11.

*Представил А. Я. Аарна*

*Всесоюзный ордена Ленина  
научно-исследовательский геологический институт  
им. А. П. Карпинского (ВСЕГЕИ)  
г. Ленинград*

Поступила в редакцию  
03. 01. 1985

*Московский государственный университет  
Всесоюзный научно-исследовательский институт  
экономики минерального сырья  
и геологоразведочных работ (ВИЭМС)  
г. Москва*

*V. A. KOTLUKOV, G. A. PELYSKY, L. M. PROKOFIYEVA*

#### **REGULARITIES OF OIL SHALE FORMATIONS IN THE HISTORY OF THE EARTH**

The accumulation of organic matter (OM), an initial material to form kerogen of oil shales began in the middle of Archean (3.7—3.5 mlrd. years), but was especially intense in the middle of Proterozoic. In the time of Vend-Anthropogene seven epochs of shale accumulations are distinguished. Four of them are believed to belong to Paleozoic and each of the three to Vend, Mesozoic and Kainozoic.

The formation of shale provinces proceeded under the geodynamic conditions of platforms, geosynclinali, orogenous and atectonic regions. Under the conditions of katagenesis changes in oil shales are accompanied by the decomposition of kerogen and increase in the quantity of carbonaceous matter. Due to progressive metamorphism in earlier Kembrian practically all rocks containing OM were transformed into highly carbonaceous formations.

*A. Karpinsky Research Institute  
of Geology (VSEGEI)  
Leningrad  
Moscow State University  
Research Institute  
of Economics of Mineral Resources  
and Geological Propecting (VIEMS)  
Moscow*