

УДК 553.2.624.131.1:553.9

## РОЛЬ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ФОРМИРОВАНИИ СВОЙСТВ СЛАНЦЕВОЙ ЗАЛЕЖИ

И. Ф. Юсупова

Представлено академиком РАН А.Н. Дмитриевским 28.04.2016 г.

Поступило 02.06.2016 г.

В качестве примера использовали прибалтийские горючие сланцы-кукерситы; в них органическое вещество (ОВ) — один из породообразующих компонентов. Показана объёмная значимость ОВ этих сланцев (из-за малой плотности) в объёме и мощности сланцевых пластов. Утверждается, что повышенное содержание ОВ предопределяет пониженную прочность этих сланцев по сравнению с карбонатными породами залежи. Подчёркнуто, что изменчивость концентраций ОВ и другие неоднородности сланцевых пластов (текстура, конкреционные тела и др.) — факторы мозаичного распределения участков с разными плотностно-прочностными свойствами и, как следствие, неравномерного сокращения пластов и их деформации в случае утраты ОВ (полной или частичной). Сделан вывод: переслаивание кукерситовых и известняковых пластов создаёт плотностную, прочностную анизотропию сланцевой залежи. Рассмотрена эпизодическая потеря сланцами ОВ (и карбонатов) в локальных участках сланцевой залежи. Здесь от кукерситов остаётся лишь их терригенная компонента с эпигенетическими сульфидами, обломками известняков и сланцев. Потеря ОВ объясняется сульфатредукционными процессами в подземной гидросфере.

*Ключевые слова:* органическое вещество, горючие сланцы, кукерситы, подземный карст, анизотропия прочности.

**DOI:** <https://doi.org/10.31857/S0869-56524842220-223>

Горючие сланцы представляют интерес на разных этапах своего существования: на ранних как энергетическое и технологическое сырьё, на более поздних — как нефтематеринские породы, генерирующие на катагенных глубинах жидкие и газообразные сланцевые углеводороды. Это даёт возможность использовать сланценозные толщи для познания ряда процессов и явлений, происходящих в чёрносланцевых отложениях на всех стадиях катагенеза.

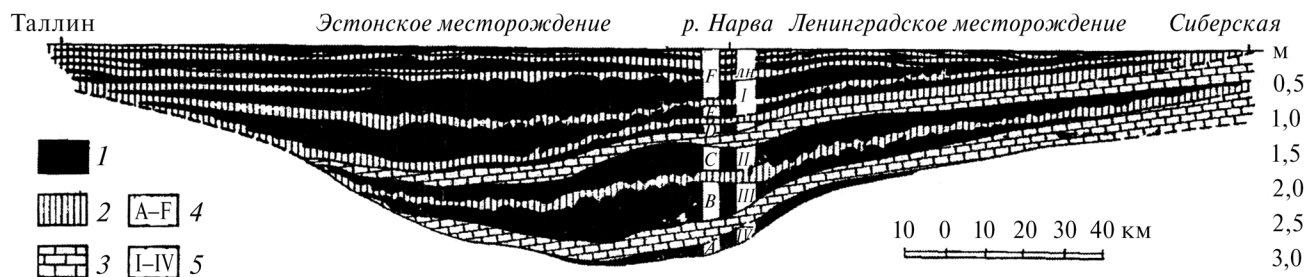
Главное отличие горючих сланцев от других осадочных пород — повышенное (>10–15%) содержание твёрдого органического вещества (ОВ). Его роль в формировании некоторых свойств сланцевой залежи рассмотрена на примере прибалтийских горючих сланцев-кукерситов. Залегающие ниже диктионемовые сланцы (O<sub>1</sub>pk) здесь не рассматриваются. Автор изучала ОВ кукерситов в разных аспектах: проявление в карстовых процессах, создание эпигенетической пустотности, деформационные изменения сланцевых пластов, возможности утилизации ОВ сульфатредуцирующей микрофлорой, его химико-битуминологические особенности ([1–6] и др.).

Сланценосная толща (O<sub>2</sub>kk) Прибалтийского сланцевого бассейна мощностью ~30 м содержит многочисленные пласты кукерситов. Это породы, состоящие из трёх породообразующих компонентов: ОВ, карбонаты, терригенный материал. Пласты кукерситов переслаиваются с известняками, которые зачастую содержат ОВ. Большинство кукерситов массивные, реже тонкослоистые породы ([7, 8] и др.).

Сланцевая залежь — сближенные пласты кукерситов в сланценосной толще; они образуют так называемый промышленный пласт (промпласт) мощностью до 3,2 м. Из них собственно горючих сланцев — до 1,8 м (рис. 1). Содержание ОВ в промпласте до 40 мас.% и более; ОВ — гетератомное, высокомолекулярное с элементным составом, %: С 76,5–77,5; Н 9,4–9,9; N 0,2–0,5; S 1,2–2,0; Cl 0,5–0,9; O 9,0–11,0; степень преобразованности — ранний катагенез. ОВ кукерситов сингенетичное, представлено остатками сине-зелёных водорослей ([8] и др.). Установлено, что содержание ОВ в сланце, теплота сгорания сланца и выход из него смолы при сухой перегонке находятся между собой практически в линейной зависимости ([8] и др.).

Наличие концентрированного органического вещества (КОВ) предопределяет ряд физико-механических особенностей самих сланцев и залежи.

*Институт проблем нефти и газа  
Российской Академии наук, Москва  
E-mail: t.p.romanova@gmail.com*



**Рис. 1.** Сланцевая залежь Прибалтийского бассейна горючих сланцев [7]. 1 — горючий сланец; 2 — известняк с содержанием ОВ 5–10%; 3 — известняк с содержанием ОВ < 5%; 4 — индексация пластов горючих сланцев на месторождениях: на Эстонском — А–F; Ленинградском — I–IV.

При содержании ОВ ~5–10% карбонатные породы сланценосной толщи приобретают бежевую окраску. В целом цветовая гамма самих кукерситов ограничивается буровато-коричневыми тонами. В отдельных участках залежи в горных выработках кукерсит документируется как “почерневший”, “чёрный”, “порченный”. Здесь изменение цвета объясняют частичной потерей ОВ под воздействием различных факторов, в том числе избирательной утилизацией части ОВ сульфатредуцирующей микрофлорой ([8, 11] и др.).

Известно, что ОВ отличает от минерального вещества пониженная плотность (~1 кг/дм<sup>3</sup>). Это предопределяет пониженную плотность и самих кукерситов. Например, при 30%-ном содержании ОВ плотность этих сланцев ~1,8 кг/дм<sup>3</sup> [8].

Пониженная плотность ОВ обуславливает его объёмную значимость: при равных массовых содержаниях минерального вещества и ОВ на долю второго приходится больший объём. Поэтому объёмные соотношения компонентов в кукерситах не совпадают с массовыми (табл. 1).

Объёмная значимость ОВ, в свою очередь, определяет:

а) более существенный вклад ОВ в мощность кукерситовых пластов;

б) более “терригенный” состав кукерситов по сравнению с массовыми соотношениями (табл. 1);

в) разный объём пустотности, образующийся при деструкции равных количеств органического и минерального вещества (в первом случае он будет больше). Роли ОВ в формировании вторичной пустотности посвящены многие работы, в том числе автора ([1, 3, 9, 10] и др.).

Прочностные показатели таких поликомпонентных образований, как кукерситы, зависят от многих факторов: пространственного соотношения компонентов, их количества, крупности, степени цементации между ними, наличия конкреций и других неоднородностей<sup>1</sup>. Тем не менее признано, что повышенные содержания ОВ определяют пониженную прочность кукерситов. Для шахт Ленинградского месторождения прочность пород залежи составляет для кукерситов 200–300, известняков 440–650 кг/см<sup>2</sup> [11].

Таким образом, переслаивание кукерситов и известняков создаёт плотностную и прочностную анизотропию залежи, обуславливая своеобразие её существования в массиве.

Изменчивость концентраций ОВ (и других породообразующих компонентов) в той или иной степени присуща многим сланцам ([12] и др.).

**Таблица 1.** Несоответствие массовых и объёмных содержаний в кукерситах

| Содержания   | Усредненный состав кукерситов, % |           |                        |
|--------------|----------------------------------|-----------|------------------------|
|              | ОВ                               | карбонаты | терригенные компоненты |
| Массовые [8] | 35                               | 40        | 25                     |
| Объёмные*    | 54                               | 25        | 21                     |

Примечание\*. При плотности ОВ — 1,0; карбонаты — 2,5; терригенные компоненты — 2,0 мас.%.

<sup>1</sup> Конкреции обуславливают частичное истирание кукерситов при бурении, неполный выход керна [8] и, соответственно, заниженную оценку мощности кукерситов.

В нашем случае она контролируется текстурными неоднородностями, морфологией (равномерной, гнездообразной, линзовидной, слоевой и др.) скоплений ОВ, конкрециями и др. На Эстонском месторождении содержание ОВ 11,5–68,4%, т. е. ~20–80 об.%. “Сверхконцентрации” ОВ свидетельствуют о существовании в пластах участков с углеродистой (органической) матрицей, а не с минеральной. Известняки, разделяющие пласты кукерситов, также содержат ОВ до 5,0–10,0% ОВ [7, 8].

Изменчивость концентраций ОВ в пластах предопределила мозаичное распределение участков с разными качественными (теплотворная способность и др.) и плотностно-прочностными свойствами, в том числе с углеродистой и минеральной матрицами. Всё это залог последующих внутривластовых деформаций и многообразия форм пустотного пространства, фильтрационной неоднородности в сланцевых пластах в процессе утраты кукерситами своего ОВ.

В случае потери (частичной или полной) ОВ, уменьшение мощности и усадка пластов кукерситов будут неравномерными и обусловят разнообразные деформации в виде трещиноватости, ослабленных зон, нарушения целостности пластов, проседания вышележащих слоёв; уровень дислоцированности и флюидопроводимости повышается. Потеря ОВ на других месторождениях, например на угольно-сланцевом гиганте Фушунь (КНР) [13], может иметь свои особенности, но в любом случае нарастающее изъятие ОВ вызовет соответствующую реакцию залежи.

Утрата кукерситами ОВ происходила на локальных участках залежи, на которых под воздействием совокупности факторов (механических, химических, биогенных) в условиях подземной гидросферы сланцы теряли своё ОВ (и карбонаты). Они постепенно превращались сначала в “почерневшие” разновидности, неравномерно сокращались в мощности, деформировались ([1, 11] и др.).

В конечном счёте от кукерситов осталась их терригенная компонента с обломками известняков, самих сланцев, эпигенетическими сульфидами (пирит, галенит и др.) по трещинам и кавернам ([7, 8, 11] и др.).

Здесь потеря кукерситами своего ОВ периодически происходила в условиях подземного карста, восстановительной анаэробной среды, проявилась мозаично и была сопряжена с генерацией сульфидной S. Избирательный характер

утилизации ОВ кукерситов сульфатредуцирующей микрофлорой обусловил разукрупнение и деструкцию такого сложного высокомолекулярного материала, как ОВ этих сланцев, способствуя его частичному растворению, выносу подземными водами и другим преобразованиям. Геологические особенности (дефицит сульфатов и др.) обусловили прерывистый, мозаичный характер сульфатредукции. Это сохранило сланцевую залежь от полного уничтожения ([1, 11] и др.).

Таким образом, кукерситовая залежь в локальных зонах эпизодически становилась ареной генерации сульфидной S. Одна из причин этого явления — наличие ОВ, одно из следствий — утрата ею ОВ.

Органическое вещество кукерситов, как твёрдый компонент литосферы, на этих участках исчезло. Горючие сланцы стали обычными осадочными породами; здесь сланцевая залежь прекратила своё существование.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юсупова И.Ф. // ДАН. 2008. Т. 420. № 2. С. 213–216.
2. Юсупова И.Ф. // ДАН. 1991. Т. 316. № 3. С. 697–701.
3. Юсупова И.Ф., Абукова Л.А., Абрамова О.П. // ДАН. 2007. Т. 414. № 1. С. 74–77.
4. Абукова Л.А., Юсупова И.Ф., Абрамова О.П. // ХТТ. 2014. № 2. С. 19–24.
5. Абукова Л.А., Абрамова О.П., Юсупова И.Ф. Актуальные проблемы геологии и геохимии нефти и газа. М.: Геос, 2004. С. 24–27.
6. Юсупова И.Ф., Абукова Л.А. Ресурсовоспроизводящие, малоотходные природоохранные технологии освоения недр. М.: Изд-во РУДН, 2015. 71 с.
7. Геология СССР. Эстонская ССР / Под ред. П. Я. Антропова. М.: Гостехиздат, 1960. Т. 28. 512 с.
8. Формации горючих сланцев / Под ред. Б. А. Котлукова, С. С. Баухова. Таллин: Валгус, 1973. 150 с.
9. Балушкина Н.С., Калмыков Г.А., Кирюхина Т.А. и др. // Геология нефти и газа. 2013. № 3. С. 48–61.
10. Pommer M., Miliken K. // AAPG Bull. 2015. V. 99. № 9. P.1713–1744.
11. Газизов М.С. Карст и его влияние на горные работы. М.: Наука, 1971. 204 с.
12. Цветков Л.Д., Киселева Н.Л., Цветков Д.Л. Нефтегазоматеринские толщи мира. Ярославль: Аверс Плюс, 2015. 492 с.
13. Wu Chonglong, Yang Qi, Zhu Zuoduo, Liu Gang, Li Xing // Intern. J. Coal Geol. 2000. V. 44. P. 149.

## THE ROLE OF ORGANIC MATTER IN FORMATION OF THE PROPERTIES OF A SHALE DEPOSIT

I. F. Yusupova

Presented by Academician of the RAS A.N. Dmitrievsky April 28, 2016

Received June 28, 2016

Baltic oil shales — kukersites were studied as an example of rocks with rock-forming organic matter (OM). The volumetric significance of their OM is shown (due to the low density) in the volume and thickness of the shale layers. A higher OM content is responsible for a lower strength of the shales relative to the carbonate rocks of the deposit. The variable OM contents and other heterogeneities of the shale layers (structure, nodules, etc.) are factors of the mosaic distribution of areas with different density–strength properties and, as a result, of uneven reduction of layers and their deformation in the case of OM loss (full or partial). It is concluded that the intercalation of kukersite and limestone layers leads to density and strength anisotropy of the shale deposit. Episodic loss of OM and carbonates by the shales is considered for the local areas of the deposit: here, kukersites contain only a terrigenous component with clasts of limestones, shales, and epigenetic sulfides. The loss of OM is explained by sulfate-reduction processes in the underground hydrosphere.

*Keywords:* organic matter, oil shales, kukersites, underground karst, strength anisotropy.