

<https://doi.org/10.15407/dopovidi2020.05.052>

УДК 552.58:553.98:551.79(477)

**А.Е. Лукин, Я.В. Лукин, И.И. Самойленко**

Украинский Государственный геологоразведочный институт, Чернигов

E-mail: chv\_ukrdgri@ukr.net

## **Черные миникурильщики — возможный фактор образования черносланцевых формаций эвксинского типа**

*Представлено академиком НАН Украины А.Е. Лукиным*

*При электронно-микроскопическом изучении пород нижневизейской черносланцевой формации эвксинского типа в центральной части Днепровско-Донецкой впадины (по керну глубоких скважин) были обнаружены фрагменты пиритизированных трубок цилиндрической и конусовидной формы, заполненных коллоидным, губчатым и фрамбоидальным пиритом, играющим большую роль в составе черных сланцев. По-видимому, это фрагменты микротрубчатой дегазационной системы, по которой в бассейн седиментации поступал глубинный сероводород. Отверстия в стенках трубок свидетельствуют о распылении двухфазного флюида на капли жидкости и пузырьки газа, при кавитации которых происходят микровзрывы, перфорирующие стенки трубок. Находка этих хрупких эфемерных образований, предположительно являющихся аналогами черных курильщиков, позволяет конкретизировать закономерности накопления черносланцевых формаций эвксинского типа, что должно способствовать как освоению связанных с ними углеводородных и минеральных ресурсов, так и оценке их геоэкологического и эволюционно-биологического значения.*

**Ключевые слова:** черные сланцы, эвксениты, трубчатая проблематика, сероводородная дегазация, черные курильщики.

Черносланцевые (гидрокарбонатные) формации эвксинского типа относятся к наиболее специфическим геогенерациям наслоенной вулканогенно-осадочной оболочки (стратисферы) земного шара. Они представляют особый интерес с точки зрения литогеодинимического и флюидодинамического анализа. В теоретическом плане изучение закономерностей их формирования обусловлено прежде всего тем, что черносланцевые отложения эвксинского типа маркируют глобальные “бескислородные события” [1] на хроностратиграфических рубежах, с которыми связаны практически все основные ароморфозы — скачки макроэволюции [2]. Практическое значение этих исследований определяется тем, что черносланцевые формации эвксинского типа являются мегаловушками сланцевого и центральнобассейнового газа [3]. Связанные с ними геохимические аномалии позволяют

---

Цит у в а н н я: Лукин А.Е., Лукин Я.В., Самойленко И.И. Черные миникурильщики – возможный фактор образования черносланцевых формаций эвксинского типа. *Допов. Нац. акад. наук Укр.* 2020. № 5. С. 52–60. <https://doi.org/10.15407/dopovidi2020.05.052>

рассматривать их как нетрадиционные источники не только углеводородов, но и различных металлов.

В структуре седиментационного фонда обогащенных сапропелевым и смешанным (гумусово-сапропелевым) органическим веществом пелитоморфных пород — черных сланцев (ЧС) — black shales или гидрокарбопелитов (доманикиты и доманикоиды, бажениты и другие древние аналоги эвксинитов) велика роль эндогенного осадочного материала. Именно эндофонд в значительной мере определяет соотношение филлосиликатного, кремнеземного, карбонатного, (ди)сульфидного, фосфатного и органического вещества в их составе и геохимические особенности [3–5]. Однако конкретные “механизмы” реализации эндогенных факторов указанных формаций недостаточно изучены. В тектоно-геодинамическом отношении они представляют собой отложения относительно глубоководных котловинных морских бассейнов черноморского (эвксинского) типа с признаками сопряженных процессов глубинной дегазации Земли, включая интенсивную флюидоотдачу морского дна, сероводородно-метановое заражение и газогидратообразование. Это, в частности, ярко проявляется в Черном море [6]. Сероводородная и метановая дегазация обеспечивает интенсивные микробиогенные процессы, с которыми, в частности, связана генерация основной массы органического вещества ЧС эвксинского типа. Ведущую роль в указанном комплексе процессов, определяющем минеральный состав и геохимические особенности ЧС, играет донная флюидоотдача, обусловленная его “ситовой” (“рассеянный спрединг”) проницаемостью [4–6]. Она осуществляется через систему элементарных очагов разгрузки, морфология и “механизмы” функционирования которых применительно к черносланцевым формациям практически не изучены. В этом отношении они резко отличаются от гидротермально-рудноносных полей в Атлантическом и Тихом океанах и их древних аналогов — разновозрастных (кембрий — миоцен) колчеданных месторождений Урала, Рудного Алтая, Японии, Калифорнии, Кипра и др., сульфидные трубы которых аналогичны черным курильщикам (ЧК) — black smokers [7].

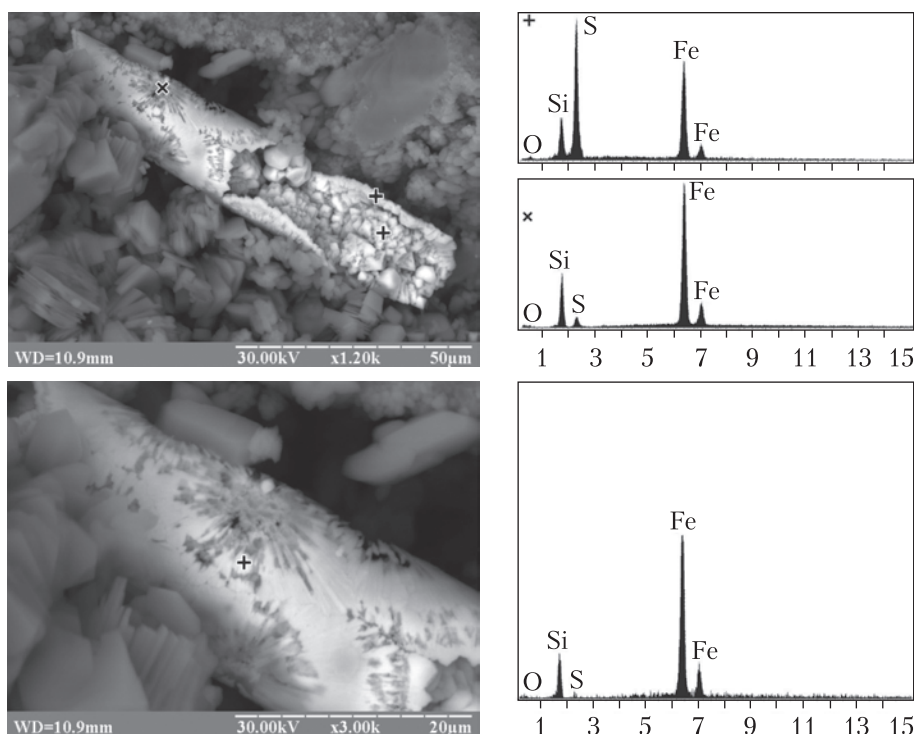
ЧК представляют собой сложные системы. Их наиболее важным с точки зрения общих проблем естествознания (дегазация Земли — происхождение жизни — эволюция) звеном является сопровождающая ЧК (при)гидротермальная специфическая биота, энергетической основой которых является бактериальный хемосинтез [8–11]. Более того, только наличие остатков этой биоты в виде полиминеральных преимущественно (ди)сульфидных биоморфов [7] позволяет диагностировать древние аналоги ЧК. При этом следует учитывать известные закономерности эволюции литогенеза и, в частности, флюидного литогенеза, благодаря которым “палеокурильщики” могут кардинально отличаться от современных ЧК по размерам и морфологии, минеральному составу и геохимии, характеру микрофацций и их соотношению.

Одной из характерных особенностей как современных, так и древних (при)гидротермальных экосистем, помимо осуществляющих хемосинтез бактерий, является обязательное и доминирующее присутствие трубчатых червей — вестиментифер, олигохет, полихет, а также разнообразной палеонтологической и литологической проблематики. Обязательное присутствие таких организмов в указанных биоценозах и их доминирование в составе микробиоты, по-видимому, связано с тем, что они по мере отмирания играют роль микроканалов дегазации в иерархических системах ЧК.

По аналогии с современными (ЧК) и древними (сульфидные трубы на колчеданных месторождениях) гидротермальными полями океанического дна можно предполагать наличие в черносланцевых формациях эвксинского типа наличие минерализованных фрагментов каналов дегазации. При этом необходимо учитывать кардинальные различия процессов гидротермального рудообразования и депрессионной гидрокарбонепелитовой седиментации. Здесь следует отметить обнаруженные С.А. Мачулиной в нижнетурнейских карбонатных породах Стыльского карьера (юго-западная окраина Донбасса) фрагменты гидротермально-рудной структуры штокверкового типа, которую она описала в качестве ЧК [12, с. 107]. Поскольку в [12] отсутствуют данные о (при)гидротермальной биоте, наличие биоморфоз которой является главным критерием сингенетичности рудной постройки и вмещающих рудоносных слоев [7], однозначно определить природу этой бесспорно интересной находки сложно. Она может быть связана как с эпигенетическим оруденением турнейских известняков в зоне интенсивной разломной тектоники, так и представлять собой аналог ЧК в существенно иных (по сравнению с гидротермальными полями современных и палеоокеанов) геологических условиях. При этом следует учитывать тот факт, что условия накопления шельфовых карбонатных отложений неблагоприятны для захоронения таких хрупких построек, как ЧК и сопутствующих им биоценозов, неизменным участником которых, как отмечалось, являются оруденелые трубчатые черви [7]. Условия депрессионной гидрокарбонепелитовой седиментации в этом отношении гораздо благоприятнее, однако и здесь вероятность обнаружения минерализованных каналов конседиментационной дегазации невелика. Поэтому несомненный интерес представляют признаки присутствия возможных аналогов ЧК в глубокозалегающей нижневизейской черносланцевой формации (ХIIа м.ф. горизонт, рудовские слои) Днепровско-Донецкой впадины [13].

Эта формация представлена толщей (600–1200 м и более) темноцветных глинистых пород с терригенными отложениями мутьевых потоков (турбидиты) и контурных течений (контуриты). Сейсмофациальные особенности ее строения в целом характерны для клиноформенного заполнения глубоководных депрессионных бассейнов. Формациеобразующие породы представлены темноцветными (черными, буровато-черными, темно-серыми) пелитоморфными породами, которые характеризуются: а) широкими вариациями соотношений органического, филлосиликатного (глинистого), (ди)сульфидного, карбонатного, кремнеземного, фосфатного материала; б) микрослоистыми текстурами и скудной специфической биотой (планктонные фораминиферы, остракоды, спикулы губок, ихтиодетрит и т.д.). Это типичный депрессионный комплекс, присущий относительно глубоководным бассейнам с нарушениями газового режима, которые обусловлены углекисло-сероводородным заражением и интенсивной метановой газоотдачей дна. О конседиментационной эндогенной активности свидетельствует присутствие аутигенной анальцимовой минерализации (по данным электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа) и геохимические особенности (повышенные концентрации бора, ртути, бария, ванадия, цинка, свинца, рения, урана и др.) [13].

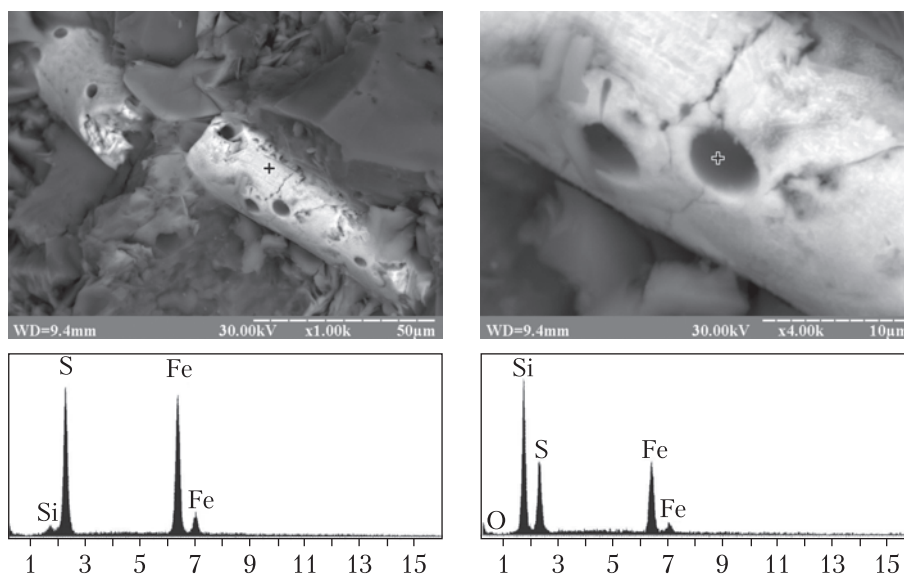
Общее содержание остаточного органического вещества в ЧС данной формации варьирует в диапазоне 2–14 %, что соответствует уровню его концентрации в разновозрастных черносланцевых (гидрокарбонепелитовых) формациях, включая баженовскую свиту (J<sub>3</sub>) Западной Сибири и “горячие сланцы” (hot black shales) Североморской впадины (верхняя



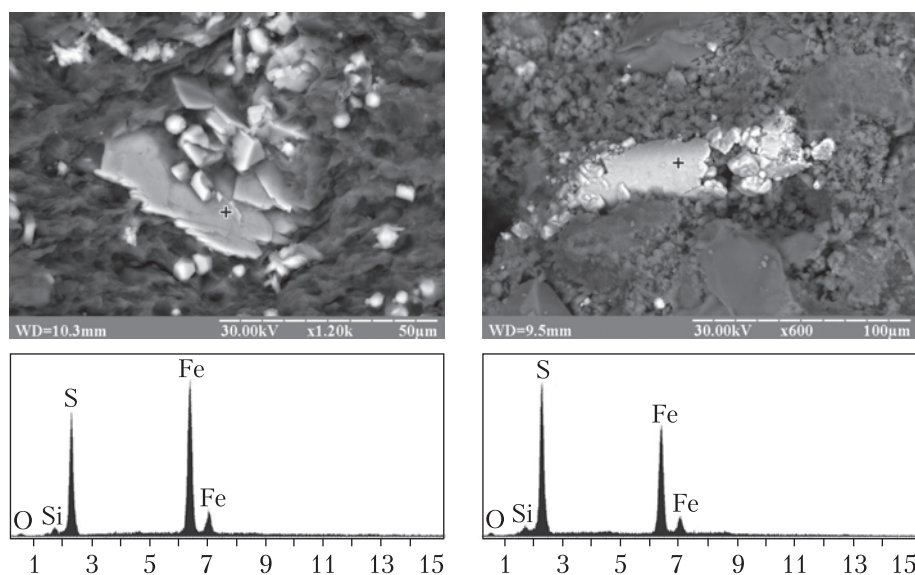
**Рис. 1.** (Ди)сульфидная псевдоморфоза по трубке “черного миникурильщика” (?), заполненной различными формами микробиогенной пиритизации (фраamboиды, колломорфный и губчатый  $\text{FeS}_2$ ), с признаками кавитационного (?) разрушения стенок трубки в песчаниках-контурах нижневизейской черносланцевой формации центральной части ДДВ (скв. 150-Березовская, инт. 5911–5914,8 м)

юра). Близость указанных геохимических показателей к этим гораздо более молодым (на ~200 млн лет) и залегающим на значительно меньших (2–3 км) глубинах формациям позволяет предполагать, что первоначальное содержание органического вещества вполне соответствовало уровню его содержания в кайнозойских эвксенитах. Подобно им, кероген рассматриваемых отложений характеризуется смешанным сапропелево-гумусовым составом при значительной роли растительного шлама, споро-пыльцевого материала, кутинита и др. В то же время, присутствие обильной фоссиллизированной микрофлоры и, в частности, пиритизированных колоний метанотрофных бактерий позволяет предположить существенно микробиогенную природу сапропелевой части органического вещества.

Содержание (ди)сульфидной серы варьирует от 0,4 до 2 % и более. Она характеризуется преимущественно облегченным изотопным составом ( $\delta^{34}\text{S}-10\div-30\text{‰}$ ), что подтверждает ее бактериальную природу [13]. Однако в некоторых пробах отмечены существенно иные значения  $\delta^{34}\text{S}$ , близкие к метеоритному стандарту или несколько утяжеленные по сравнению с ним. Это характерно для участков интенсивной метасоматической пиритизации в парагенезе с карбонатизацией, кремнением и фосфатизацией. Вместе с тем, значительное изотопное облегчение органической серы ( $\delta^{34}\text{S}-10\div-15\text{‰}$ ) свидетельствует о ведущей роли биохимического  $\text{H}_2\text{S}$  в процессах сульфуризации органического вещества, что характерно для илов-эвксинитов.



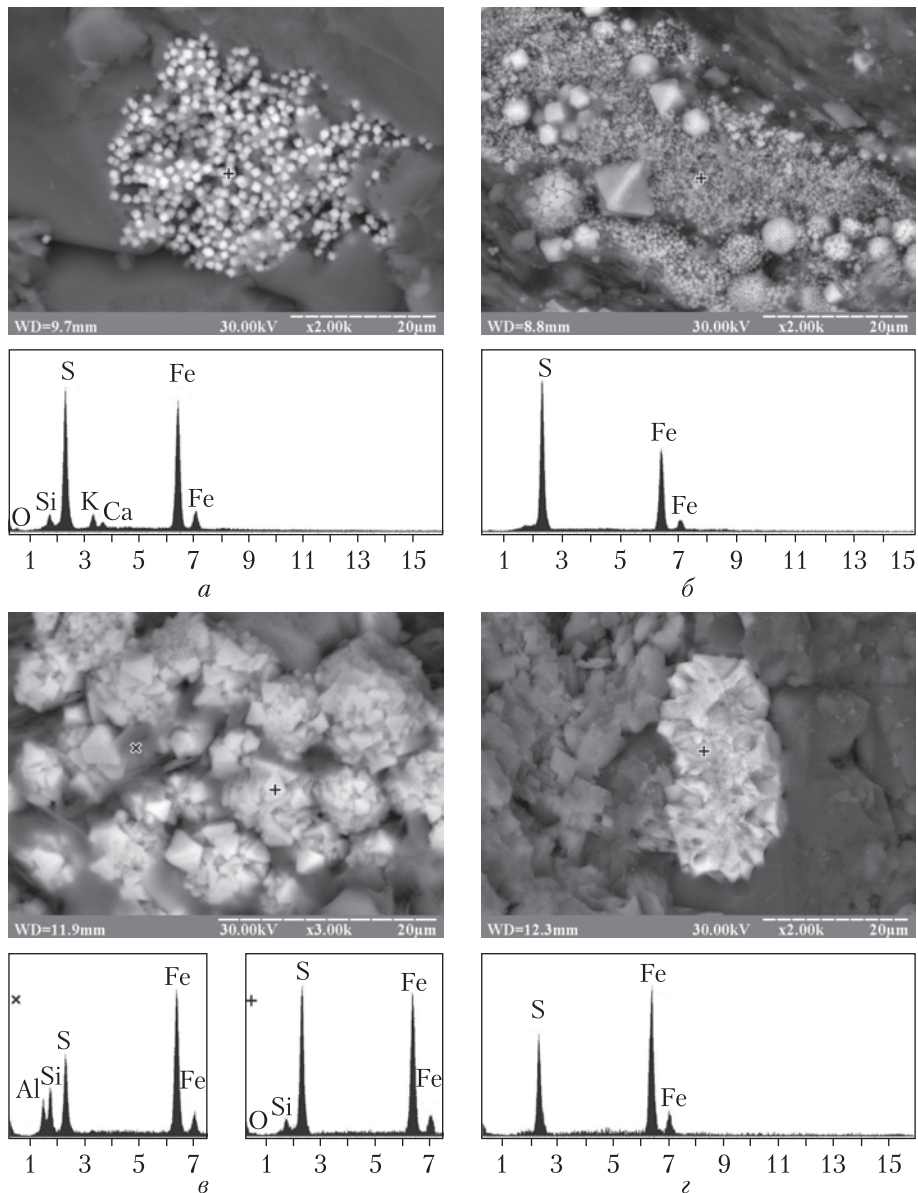
**Рис. 2.** (Ди)сульфидная псевдоморфоза по трубке “черного миникурильщика” с отверстиями микроэксплозивного (?) генезиса (кавитация?) в песчанике-контурите нижневизейской черносланцевой формации центральной части ДДВ (скв. 1-Перевозовская, инт. 6245–6256 м)



**Рис. 3.** Различная степень разрушения (до)сульфидной псевдоморфозы по трубке “черного миникурильщика” (?) в гидрокарбонелитах и песчаниках-контуритах (обломки стенки трубки и ее содержимое – различные формы ассоциаций микробиогенных кристаллов  $FeS_2$ , колломорфный и губчатый пирит, суб- и эвгдральные кристаллы пирита) нижневизейской черносланцевой формации центральной части ДДВ (скв. 150-Березовская, инт. 5911–5914,8 м; инт. 5920–5924 м)

Изотопный состав (ди)сульфидной серы, таким образом, с одной стороны, свидетельствует о большой роли биохимического сероводорода, а с другой – о поступлении глубинного абиогенного  $H_2S$ . В связи с этим особый интерес представляют обнаруженные при электронномикроскопическом изучении ЧС и залегающих среди них песчаных тел деп-





**Рис. 4.** Различные типы агрегатов  $\text{FeS}_2$  — дериваты “черных миникурильщиков” в гидрокарбонелитах и песчаниках-контуритах нижневизейской черносланцевой формации центральной части ДДВ: *а* — (ди)сульфидный “дождь” (скв. 1-Мехедовская, инт. 4865–4881 м); *б* — (ди)сульфидный “дождь”, фрамбоидальный пирит, суб- и эвгдральные кристаллы пирита (скв. 17-Семиреновская, инт. 5960–5966 м); *в* — скопление агрегатов эвгдрального, биогенного губчатого и колломорфного пирита (скв. 1-Перевозовская, инт. 6245–6256 м); *г* — микробиогенный губчатый агрегат  $\text{FeS}_2$  (скв. 485-Березовская, инт. 4665–4668 м)

рессионного генезиса фрагменты пиритизированных трубок цилиндрической и конусовидной формы, заполненных колломорфным, губчатым и фрамбоидальным пиритом, включающим значительную часть вмещающих ЧС (рис. 1, 2). По-видимому, это фрагменты микротрубчатой дегазационной системы, по которой в бассейн седиментации поступал глубинный сероводород. Отверстия в стенках трубок свидетельствуют о распылении двух-

фазного флюида на капли жидкости и пузырьки газа, при кавитации которых происходят микровзрывы, перфорирующие стенки трубок. Именно с процессами распыления струйной миграции глубинного флюида и связан феномен ЧК. Сопутствующие гидротермальным существенно сульфидным трубообразным и конусовидным постройкам на океаническом дне черные “дымы” представляют собой взвесь сульфидных капельных частиц, образующихся при смешении глубинных высокоэнтальпийных флюидов (насыщенных сероводородом и другими газами, железом и другими металлами) с холодными придонными морскими водами [7, 10, 14]. Сопутствующая ЧК (при)гидротермальная биота и прежде всего трубчатые организмы (полихеты, погонофоры-рифтии и др.) очень быстро (в считанные дни) минерализуются (ди)сульфидами железа и другими сульфидами, отмирают и становятся мини-каналами фильтрации глубинных флюидов [14].

Капли  $\text{FeS}_2$  оседают на дно в виде (ди)сульфидного “дождя” — одного из факторов формирования гидротермальных полей на океаническом дне [7, 14]. Аналогичные по своей физической сути процессы происходят в “факеле распыления” — капельно-газовой струе, которая образуется при встрече жидкой струи с газовым потоком в центральной форсунке» [15, с. 140]. В данном же случае мы имеем дело с аналогичными процессами в “миникурильщиках”, которые легко разрушаются вследствие кавитации газовых пузырьков. Степень разрушения различна (рис. 1–3), но неизбежна вследствие хрупкости этих трубок. Это, в частности, позволяет объяснить обилие и многообразие (ди)сульфидных агрегатов в ЧС эвксинского типа (рис. 3, 4).

Таким образом, находка этих хрупких эфемерных образований, предположительно являющихся аналогами ЧК, позволяет конкретизировать закономерности накопления черносланцевых формаций эвксинского типа, что должно способствовать как освоению связанных с ними углеводородных и минеральных ресурсов, так и оценке их геоэкологического и эволюционно-биологического значения.

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Jenkins H.C. Cretaceous anoxic events from continents to oceans. *J. Geol. Soc. London*. 1973. **137**, № 2. P. 171–188.
2. Лукин А.Е. Дегазация Земли, химический мутагенез, макроэволюция. Палеонтология в системе естественных наук. Санкт-Петербург, 1999. С. 48–49.
3. Лукин А.Е. Черносланцевые формации эвксинского типа — мегаловушки природного газа. *Геология и полез. ископаемые Мирового океана*. 2013. № 4. С. 5–28.
4. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Геохимия черных сланцев. Ленинград: Наука, 1988. 272 с.
5. Лукин А.Е. Литогеохимические факторы нефтегазоаккумуляции в авлакогенных бассейнах. Киев: Наук. думка, 1997. 225 с.
6. Шнюков Е.Ф., Старостенко В.И., Гожик П.Ф. и др. О повышенной газоотдаче дна Черного моря. *Геол. журн.* 2001. № 4. С. 7–14.
7. Масленников В.В., Аюпова Н.Р., Масленникова С.П., Целуйко А.С. Гидротермальные биоморфозы колчеданных месторождений: микротекстуры, микроэлементы и критерии обнаружения. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2016. 388 с.
8. Jones M.L. Riftia pachytila Jones Observations on the Vestimentiferan worms from Galapagos Rift. *Science*. 1981. **213**. 333 с.
9. Несис К.Н. Вестиментиферы. *Природа*. 1984. № 4. С. 87–89.
10. Лобье Л. Оазисы на дне океана. Ленинград: Гидрометиздат, 1990. 156 с.
11. Биология гидротермальных систем. Гебрук А.В. (ред.). Москва: КМК Press, 2002. 543 с.

12. Мачулина С.А. Геологические условия формирования “черного курильщика” в Донбассе. *Допов. Нац. акад. наук Укр.* 2008, № 12. С. 107–110.
13. Лукин А.Е. Средневизейский эвксинский бассейн в системе Палеотетиса. Геодинамика и нефтегазные структуры Черноморско-Каспийского региона. Сб. докл. IV меж. конф. “Крым-2002”. Симферополь. 2003. С. 154–168.
14. Fornari D.J., Embley R.W. Tectonic and volcanic controls on hydrothermal processes at the mid-ocean ridge: An overview based on near-bottom and submersible studies. *Seafloor Hydrothermal Systems: Physical, Chemical, Biological and Geological Interactions*. Ed. S.E. Humphris et al. Geophysical Monograph Series, 1995. **91**. P. 1–46.
15. Вольнский М.С. Необыкновенная жизнь обыкновенной капли. Москва: Знание, 1986. 144 с.

Поступило в редакцию 25.02.2020

## REFERENCES

1. Jenkins, H. C. (1973). Cretaceous anoxic events from continents to oceans. *J. Geol. Soc. London*, 137, No. 2, pp. 171-188.
2. Lukin, A. E. (1999). Paleontology in the system of natural sciences. *Sanct-Petersburg*, pp. 48-49 (in Russian).
3. Lukin, A. E. (2013). *Geology and minerals of the World ocean*, No. 4, pp. 5-28 (in Russian).
4. Yudovich, Ya. E. & Ketris, M. P. (1988). *Geochemistry of black shales*. Leningrad: Nauka. (in Russian).
5. Lukin, A. E. (1997). Lithogeodynamic factors of oil and gas accumulation in aulacogenic basins. *Kiev: Naukova Dumka* (in Russian).
6. Shnyukov, E. F., Starostenko, V. I. & Gozhik, P. F. (2001). On the high gas output from Black Sea bottom. *Geol. J.*, No. 4, pp. 7-14 (in Russian).
7. Maslennikov, V. V., Ayupova, N. R., Maslennikova, S. P., Tseluyko, A. S. (2016). Hydrothermal biomorphoses of pyrites fields: microtextures, microelements and criteria of detection. *Ekaterinburg: RIO Ur.OROs.AN* (in Russian).
8. Jones, M. L. (1981). *Riftia pachytila* Jones Observations on the Vestimentiferan worms from Galapagos Rift. *Science*, 213.
9. Nesis, K. N. (1984). Vestimentiferans. *Priroda*, No. 4, pp. 87-89 (in Russian).
10. Lobier, L. (1990). Oases on the ocean floor. *Leningrad: Gidrometizdat* (in Russian).
11. Gebrook, A. V. (Ed.). (2002). *Biology of hydrothermal systems*. Moscow: KMK Press (in Russian).
12. Machulina, S. A. (2008). Geological conditions for the formation of a “black smoker” in the Donbas. *Dopov. Nac. acad. nauk Ukr.*, No. 12, pp 107-110 (in Russian).
13. Lukin, A. E. (2003). Geodynamics and petroliferous structures of the Black sea – Azov sea region. *IV Int. Conf. “Crimea-2002”*. Simferopol (in Russian).
14. Fornari, D. J., Embley, R. W. (1995). Tectonic and volcanic controls on hydrothermal processes at the mid-ocean ridge: An overview based on near-bottom and submersible studies. *Seafloor Hydrothermal Systems: Physical, Chemical, Biological and Geological Interactions*. Ed. S.E. Humphris et al. *Geophysical Monograph Series*, 91, pp. 1-46.
15. Volynsky, M. S. (1986). *Unusual life of usual drop*. Moscow: Znanie (in Russian).

Received 25.02.2020

*О.Ю. Лукін, Я.В. Лукін, І.І. Самойленко*

Український Державний геологорозвідувальний інститут, Чернівці  
E-mail: chv\_ukrdgri@ukr.net

## ЧОРНІ МІНІКУРЦІ – МОЖЛИВИЙ ФАКТОР УТВОРЕННЯ ЧОРНОСЛАНЦЕВИХ ФОРМАЦІЙ ЕВКСИНСЬКОГО ТИПУ

При електронно-мікроскопічному вивченні порід нижньовізейської чорносланцевої формації евксинського типу в центральній частині Дніпровсько-Донецької западини (за керном глибоких свердловин) були виявлені фрагменти піритизованих трубок циліндричної і конусоподібної форми, заповнених колорморфним, губчастим і фрамбоїдальним піритом, що відіграє велику роль в складі чорних сланців. Мабуть, це фрагменти мікротрубчастої системи дегазації, якою в басейн седиментації надходив глибинний сір-



ководень. Отвори в стінках трубок свідчать про розпилення двофазного флюїду на краплі рідини і бульбашки газу, при кавітації яких відбуваються мікробибухи, що перфорують стінки трубок. Знахідка цих крихких ефемерних утворень, які ймовірно є аналогами чорних курців, дозволяє конкретизувати закономірності накопичення чорносланцевих формацій евксинського типу, що має сприяти як освоєнню пов'язаних з ними вуглеводневих і мінеральних ресурсів, так і оцінці їх геоекологічного і еволюційно-біологічного значення.

**Ключові слова:** чорні сланці, евксиніти, трубчаста проблематика, сірководнева дегазація, чорні курці.

*A.E. Lukin, Ya.V. Lukin, I.I. Samoylenko*

Ukrainian State Geological Prospecting Institute, Chernigiv

E-mail: chv\_ukrdgri@ukr.net

#### BLACK MINISMOKERS – A POSSIBLE FACTOR OF GENERATION OF BLACK SHALE FORMATIONS OF THE EUXINIC TYPE

Fragments of pyritized tubes of cylindrical or conical shapes have been detected as a result of examining the rocks of a black shale formation (Lower Visean, central part of the Dnieper-Donets depression, the cores of oil and gas deep wells) on an electron microscope. These tubes are filled by colomorphic, spongiic and framboidal forms of microbiogenic pyrite. It constitutes the considerable portions of enclosing black shales. These tubes and associated forms of pyrite are supposedely the segments of a microchimney system of deep H<sub>2</sub>S-degassing. It seems likely that the holes in the walls of these tubes are connected with the cavitation of gas bubbles. Their appearance is related to the spraying of a two-phase fluid flow. Cavitation microexplosions perforated the tube walls. These brittle ephemer structures are possible analogs of the black smokers. Their discovery allows us to reveal the geological conditions of the formation of black shales of the euxinic type. This should promote, in turn, the development of these formations as a nontraditional source of hydrocarbons and various metals.

**Keywords:** black shales, euxenits, tube problems, hydrogen sulfide degassing, black smokers.