

© **О.А. Кичка**
А.М. Коваль
 канд. геол. наук
А.П. Тищенко
 канд. геол. наук
Т.Є. Довжок
 канд. геол.-мінерал. наук
Є.Є. Коровниченко
 ДП «Науканафтогаз»
 Національної акціонерної компанії
 «Нафтогаз України»

До проблеми освоєння метаногідратного потенціалу Чорного моря

УДК (553.981:548.562):620.91](100)

Перший успішний досвід пілотного видобування метану з підводного покладу газогідратів на схилі Східно-Нанкайського жолобу в Японії стимулював практичний інтерес до освоєння гігантського потенціалу метаногідратів Світового океану і Чорного моря зокрема. У статті розглянуто геологічні аспекти та технологічні проблеми видобування метану з підводних газогідратних покладів, а також порушуються питання оцінки метаногідратного потенціалу та перспективних об'єктів в українській частині Чорного моря. Дано рекомендації з освоєння ресурсів метаногідратів Чорного моря.

Ключові слова: газогідрат, видобування метану, Світовий океан, Чорне море, ресурси, підводні поклади.

Первый успешный опыт пилотной добычи метана из подводной залежи газогидратов на склоне Восточно-Нанкайского жолоба в Японии стимулировал практический интерес к освоению гигантского потенциала метаногидратов Мирового океана и Черного моря в частности. В статье рассматриваются геологические аспекты и технологические проблемы добычи метана из подводных газогидратных залежей, а также обсуждаются вопросы оценки метаногидратного потенциала и перспективных объектов в украинской части Черного моря. Даны рекомендации по освоению ресурсов метаногидратов Черного моря.

Ключевые слова: газогидрат, добыча метана, Мировой океан, Черное море, ресурсы, подводные залежи.

The first successful experience of the pilot methane mining from the underwater deposit of gas-hydrates on the slope of the East Nankai Trough in Japan has stimulated practical interest in the development of the giant potential of methane hydrates in the World Ocean and the Black Sea in particular. The paper deals with geological aspects and technological problems of methane extraction from underwater gas hydrate deposits and the issue of evaluation of methane hydrate potential and promising items in the Ukrainian part of the Black Sea. The recommendations are given for the development of gas hydrate resources of the Black Sea.

Key words: gas hydrate, methane production, World Ocean, Black Sea, resources, subsea deposits.

Метаногідрати Світового океану з огляду на їх велетенські геологічні ресурси можуть стати у найближчому майбутньому одним із джерел забезпечення невпинно зростаючих енергетичних потреб людства. Теорію їх утворення та існування за певних термодинамічних умов достатньо добре розроблено [1, 2]. Однак сьогодні ряд геологічних, технологічних та екологічних проблем потребує наукового вивчення і практичного розв'язання, щоби наблизити промислове та екологічно безпечне видобування газогідратів.

Якщо не враховувати супутньої експлуатації метаногідратних шапок разом із вільним газом на гігантських родовищах Мессояха та Prudhoe Bay, практичним початком видобування власне газогідратів потрібно вважати випробування газогідратного покладу термоциклічним методом у свердловині Маллік у дельті р. Маккензі в канадській частині Бофортморського басейну у 2002 р. У подальшому на арктичному схилі Аляски було проведено дослідні випробування св. Маунт Елберт у 2007 р. та І-Ігнік Сікумі у 2012 р., які тестували можливість комбінованого видобування газогідратів за допомогою нагнітання вуглекислоти в гідратоносний колектор та заміщення метану в ньому на вуглекислий газ із подальшим зниженням тиску та видобуванням метану.

Березень поточного року ознаменувався успішним видобуванням метану із океанських газогідратів на схилі субдукційного Східно-Нанкайського океанського жолобу (рис. 1), яке здійснила державна видобувна корпорація Японії JOGMEC.

Згідно з державною програмою, започаткованою 2001 року, тут було пробурено першу пілотну видобувну свердловину, що розташована на відстані 70 км від берега. Перед цим на схід від о. Хонсю було пробурено шість параметричних свердловин, завдяки чому вдалося вивчити літологію та гідратонасиченість перспективного розрізу (рис. 2), визначити геотехнічні умови облаштування підводного гирла в умовах малостійкого підводного схилу, встановити оптимальну конструкцію свердловин, розробити технологію надійної ізоляції продуктивних горизонтів та визначити раціональний комплекс ГДС для впевненого виділення гідратонасичених шарів.

За попередніми даними, за шість діб дослідної експлуатації пілотна свердловина видобула 119 тис. м³ метану із газогідратного шару. Видобування здійснювалося за методом зниження тиску під час відкачування пластової води, відтак газогідрат розкладався, а вивільнений метан надходив до свердловини, на її усті вимірювали тиск, дебіт, аналізували склад газу, а сам газ спалювався у факелі. Метаногідрат-



Рис. 1. Розташування дослідно-видобувної свердловини (червона зірка), синім показано метаногідратні поклади біля берегів Японії

ний об'єкт тут представлений трьома горизонтами тонкозернистих турбидитових пісків плейстоценової формації Осага з міжзернвою пористістю 42–45 % (гідрат цементує породу і займає 80 % порового простору), тож не дивно, що дослідна свердловина почала інтенсивно виносити пісок з утворенням пробок, через що видобування довелося припинити. Загалом шари пластових гідратів становлять до 20 % у піщано-глинистому розрізі фронтальної частини підводного конуса вивозу зазначеної формації [4]. Газогідратні поклади залягають на глибині 290–300 м від дна океану й характеризуються подвійним сейсмічним горизонтом BSR (bottom simulating reflector – відбиття, що конформне до морського дна).

Наступним кроком у 2014–15 рр. буде буріння свердловини, яка здійснить довготривале тестування газогідратного колектору для оцінки рентабельності видобування газогідратів із глибководного об'єкта площею завбільшки до 35 км², сумарною товщиною гідратонесних порід – 40–60 м на відстані 40–80 км від берега при глибинах океану 675–1400 м та куті нахилу дна океану 2–10 °.

Чорне море характеризується чи не найбільшою метановою дегазацією з-поміж інших морів [1] і є одним з найперспективніших світових басейнів для видобування газу з метаногідратів. Як відомо, саме тут вперше було задокументовано метаногідрати на морському дні. Фахівці усіх країн Чорноморського басейну – Україна, Болгарія, Туреччина, Румунія, Росія та Грузія, а також міжнародні дослідницькі групи [5, 6] вивчають гідратонесність Чорного моря. Нещодавно тут було відпрацьовано технологію так званого «автоклавної буріння» та відбору зразків на глибину до 100 м від морського дна для вивчення гідратонесного шару [7]. Водночас невирішеність технологічних питань та фактор української екологічно вразливої напівзамкненої системи Чорного моря

відтермінують початок практичних робіт із освоєння його метаногідратного потенціалу.

Останні десятиліття вивчення газогідратів Світового океану показали, що газогідратний шар у надрах при глибинах моря, де існують сприятливі умови для його існування, не є потужним і навіть подекуди не є суцільним, тож ресурсна база газогідратів постійно коригується відповідно до нових даних. Достеменно встановлено, що локальні зони потужних метаногідратів перекривають крайові розломні зони морських осадових басейнів, перехоплюючи потужний висхідний потік глибинного термогенного метану, і створюють по відношенню до останнього багатошарову покривку для підгідратних покладів газу у теригенних колекторах. Остання подекуди порушена новітніми тектонічними рухами та грязьовулканічними процесами. У найбільш зануреній частині, де тектонічних порушень обмаль, у складі газогідратів наявний переважно мікробіальний метан біогенного походження.

За допомогою відбору зразків гідратонасичених ґрунтів під час дослідницьких рейсів, сейсмічних, сейсмоакустичних та геохімічних зйомок у Чорному морі закартовано декілька потужних полів (родовищ) підводних метаногідратів, що становлять практичний інтерес [1, 5, 8, 9]. Оцінки їх геологічних ресурсів в українському секторі Чорного моря суттєво відрізняються – від 15 до 60 трлн м³ у перерахунку на метан, що відображує різні методичні підходи різних дослідників до підрахунку запасів цієї ще мало вивченої сировини, тож ця проблема потребує подальшого поглибленого дослідження.

У надрах Чорного моря простежується така газова зональність: поза бровкою континентального схилу існує циркумчорноморська зона позагідратного наскрізного газового транзиту та зона кластерного вторгнення / міграції газу у придонні відклади (т. з. «chimneys»), яка живить підводні газові гейзери («gas seeps») та простежується до глибин приблизно 750 м [10]; далі на глибину розташована зона острівної гідратонасиченості, що змінюється зоною суцільної гідратонесності (з потуж-

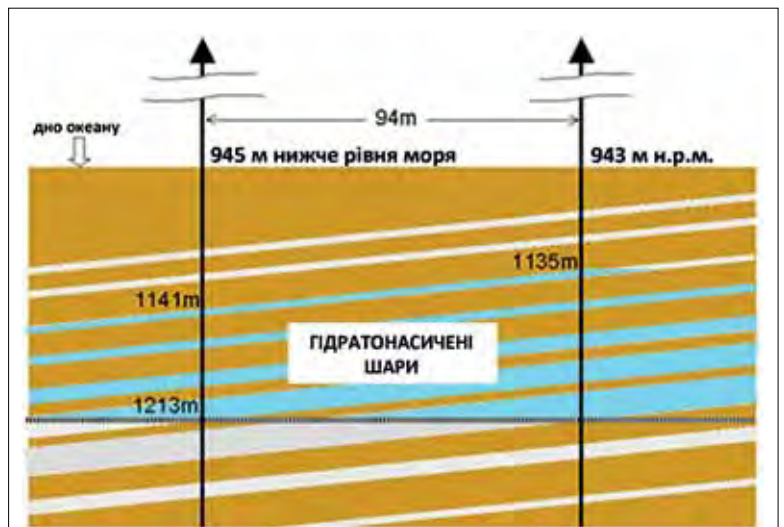


Рис. 2. Газогідратонесні пласти в плейстоценовій формації Осага, розкриті параметричними свердловинами [3]

ними багатопластовими покладами в теригенних колекторах на розломних шляхах висхідної міграції газу та поширенням BSR) у зоні підводного схилу та континентального підніжжя Чорного моря. Нарешті, центральну глибоководну частину займає зона практично не вивченої малопотужної покривної гідратонасиченості у глинисто-намулових басейнових відкладах, де шлірові та вкраплені прояви метаногідрату не утворюють неперервного пласта, відтак і BSR не простежується.

Стосовно сейсмічної границі BSR, яка є індикатором виділення газогідратоносних товщ, варто зазначити таке. У 1970-х рр. було виявлено існування відповідної сейсмічної відбиваючої границі в декількох середовищах, багатих на газогідрати. Її положення збіглося з термодинамічно визначеною глибиною підшови зони стабільності газогідратів (GHSZ). Ці нові результати широко використовували у сейсмічних даних для масивних газогідратних покладів. Згадану відбиваючу границю можна легко розпізнати, оскільки вона паралельна до морського дна і має зворотну полярність. BSR зазвичай перетинає стратиграфічні горизонти на сейсмічних профілях, тому що його положення визначається скоріше різницею акустичних імпедансів між відкладами, насиченими газогідратами (над BSR, у зоні GHSZ), та газонасиченими відкладами під ним.

І все ж BSR не завжди проявляється або спостерігається на сейсмічних профілях, розташованих у багатих на газогідрати середовищах. Наприклад, газогідрати були знайдені у ряді випадків без наявності BSR. Це свідчить про те, що такі інші параметри, як розподіл газогідратів по зоні їх стабільності GHSZ, загальна кількість та структура газогідратів, розподіл газу нижче GHSZ тощо, впливають на процес формування BSR. У деяких місцях із добре помітним BSR на сейсмічних розрізах із керна вилучалася мала кількість газогідратів [11]. Таким чином, BSR як непрямий доказ наявності газогідрату може бути використано лише як один із критеріїв виділення газогідратоносної товщі в комплексі з іншими прямими і непрямими ознаками.

Є чимало прикладів виділення BSR у межах зони суцільної гідратонасиченості Чорного моря. За його наявності в межах західної частини Чорного моря румунські дослідники [9] чітко виділяють 4 прогнозные гідратоносні ділянки (рис. 4).

Використовуючи ці дані, на матеріалах регіональної 2D сейсмозв'язки, отриманих методом МСГТ, ми дослідили відповідні аномалії. У результаті проведеної обробки даних по кількох сеймопрофілях було простежено BSR (рис. 5) та зроблено спробу виділити прогнозний метаногідратний поклад (рис. 6).

Вирішення проблеми картування потенційно газогідратоносних об'єктів на основі матеріалів сейсмозв'язки 2D потребувало застосування спеціалізованої динамічної обробки даних із метою отримання додаткової інформації про особливості геологічного середовища. Розв'язання відповідної задачі потребувало виконання всіх процедур обробки в режимі збереження «істинних амплітуд» сейсмічних коливань для усього часового інтервалу їх реєстрації. Під «істинними амплітудами» розуміємо такі, що в процесі обробки отримали мінімальні

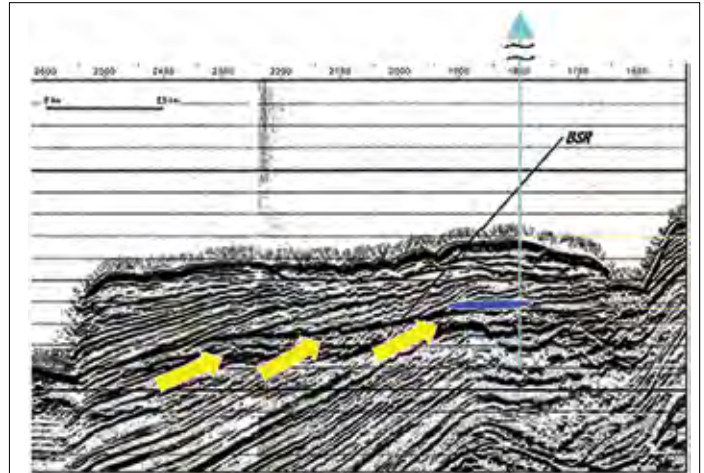


Рис. 3. Місце розташування видобувної свердловини JOGMEG на схилі океанського жолоба. Стрілками протрасований подвійний BSR [3]

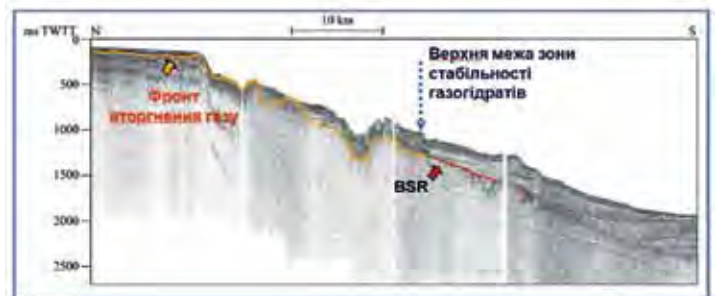
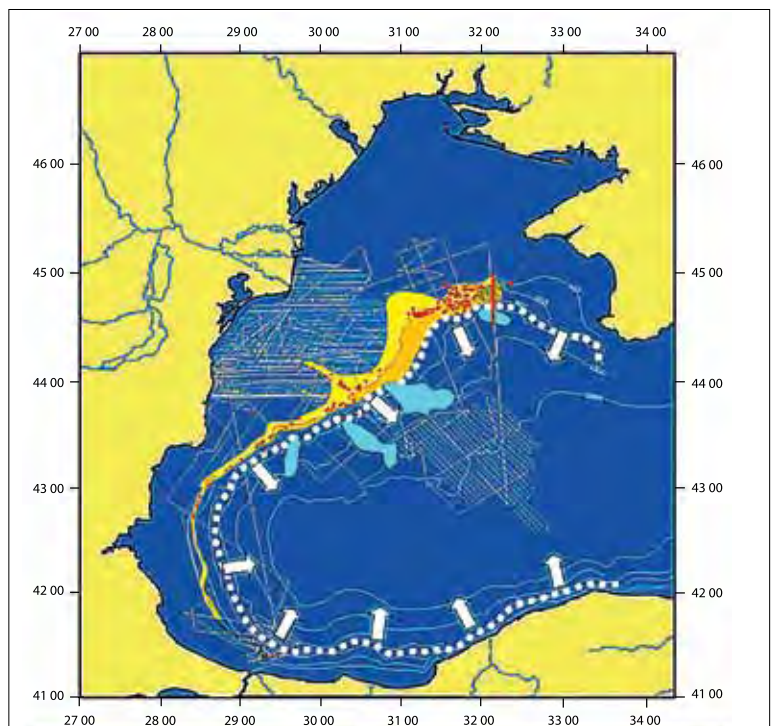


Рис. 4. Зона підводних газопроявів (червоні точки), верхня кромка поширення газогідратів за даними моделювання (пунктир та стрілки, білим), газогідратні поклади (блакитним) у Західно-Чорноморській западині [9]

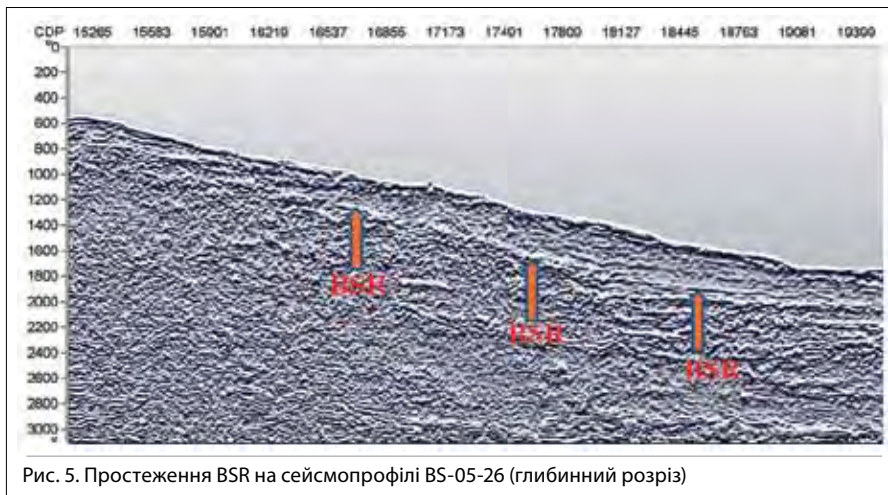


Рис. 5. Простеження BSR на сейсмопрофілі BS-05-26 (глибинний розріз)

спотворення динамічних особливостей сейсмічного запису. Отриманий сейсмічний розріз апіорі має відображати адекватний розподіл коефіцієнтів відбиття як по літералі, так і в напрямку збільшення часу реєстрації.

Для систематизації послідовності застосування процедур та визначення значень їх параметрів було розроблено граф обробки сейсмічної інформації, який складається з 6 блоків.

Блок 1. Формування геометрії спостережень із внесенням інформації в заголовки вхідних сейсмограм та отримання апіорного часового розрізу спільної середньої точки.

Блок 2. Послаблення різноманітного типу завад, шумів і короткохвильових реверберацій на вхідних сейсмограмах, відсортюваних за загальними пунктами збудження.

Блок 3. Зменшення впливу низькошвидкісних хвиль-завад.

Блок 4. Корекція сейсмічного сигналу за нахил відбиваючої границі та введення поправки за час приходу хвиль, редагування швидкостей сумування, формування фінального часового розрізу, підвищення роздільної здатності та співвідношення сигнал / завада на фінальному часовому розрізі.

Блок 5. Отримання мігрованого зображення в часовому масштабі.

Блок 6. Отримання мігрованого зображення в глибинно-масштабі.

За результатами такої обробки в комплексі із застосуванням сучасних методик параметричних перетворень на дослідному полігоні вдалося:

виявити аномалії хвильового поля, які просторово відповідають прогнозованому газогідратоносному об'єкту;

визначити особливості виділення меж газогідратоносного об'єкта;

встановити сейсмічні параметри виділення газогідратоносного об'єкта.

У процесі обробки основну увагу було зосереджено на збереженні динамічних особливостей сейсмічного запису та отриманні хвильового поля з високою роздільною здатністю, особливо в інтервалі верхньої (піддонної) частини розрізу зі сприятливими для утворення метаногідратів умовами. Отримані в такий спосіб часові та глибинні сейсмічні розрізи дають

додаткову інформацію про будову верхньої (піддонної) частини розрізу, допомагають визначити морфологію прогнозних газогідратоносних об'єктів та оцінити в першому наближенні їх ресурси.

Висновок

Виходячи з вищенаведеного, зважаючи на певні досягнення в прогнозуванні покладів газогідратів у межах акваторії Чорного моря та враховуючи успіх дослідного видобування метану із океанських газогідратів Східно-Нанкайського океанського жолоба, можемо говорити про підстави для планування відповідних робіт і в умовах українського сектора акваторії Чорного моря.

Подальші практичні кроки в освоєнні ресурсів метаногідратів в українському секторі Чорного моря потребують геолого-економічної оцінки реалізації ресурсного потенціалу на основі знань про їх властивості, просторову локалізацію та геологічні ресурси у підводних надрах, відпрацювання екологічно безпечних технологічних процесів їх промислового видобування та коригування відповідних законодавчих актів із надкористування. Ці заходи повинні створити необхідну економічну привабливість для інвесторів, зацікавлених в участі в освоєнні ресурсів метаногідратних покладів, щоби прискорити їх ринкове освоєння з відповідним державним регулюванням цього процесу.

На нашу думку, в Україні потрібне переосмислення того, що освоєння ресурсів газогідратів є одним з перспективних напрямів у державній політиці ресурсозабезпечення та пріоритетних напрямів розвитку вітчизняної нафтогазової промисловості. Відповідно до цього, по-перше, необхідно внести відповідні зміни до законодавчих актів, що регулюють надкористування та видобування нафти і газу в Україні, зокрема Кодексу України про надра, Податкового кодексу, Закону України «Про нафту і газ», Закону України «Про альтернативні джерела енергії», Закону України «Про ліцензування певних видів господарської діяльності» та ін. законів та нормативно-правових актів із метою врегулювання законодавчих основ видобування в Україні газу з метаногідратів.

По-друге, необхідно розробити та затвердити Державну цільову програму «Освоєння метаногідратних ресурсів українського сектора Чорного моря на період до 2030 р.»

Подібні цільові програми [12] існують у п'яти країнах – США, Індії, Японії, Кореї та Китаї: у чотирьох перших діють уже треті за порядком програми, в Китаї – перша. Японія, яка далі від інших просунулася у сфері видобування газогідратів у морських умовах, у свої газогідратні програми вклала понад 800 млн дол. США, Китай – 200, Корея – 132,5, Індія – 85, США – 58 млн дол. США. Досвід і результати робіт відповідних країн мають бути певним орієнтиром для нашої держави в плануванні робіт із освоєння метаногідратів в українському секторі Чорного моря.

У процесі розроблення та реалізації державної цільової програми доцільно провести фундаментальні та прикладні дослідження, які мають включати роботи з:

визначення умов утворення, особливостей просторової локалізації та ізотопного фракціонування вуглецю та водню метаногідратних покладів;

проведення геолого-економічної оцінки освоєння ресурсного потенціалу метаногідратів;

визначення оптимального

комплексу геологорозвідувальних робіт (сейсмічних, сейсмоакустичних, електромагнітних, геохімічних, бурових, геофізичних досліджень свердловин, геолого-промислових тощо) для пошуку та розвідки покладів і оцінки запасів метаногідратів в акваторії Чорного моря;

визначення оптимальних технологій проведення бурових робіт випробування з метою розкриття та видобування метаногідратів у Чорному морі.

На перших стадіях освоєння ресурсів метаногідратів особливу увагу необхідно приділяти пошукам родовищ підгідратного газу у теригенних колекторах придонних склепінневих структур та неструктурних пасток і вивчати їх газогідратну покришку в процесі розвідки, а до програм робіт, що виконуватимуться за спеціальними дозволами на користування надрами та угод про розподіл продукції для всіх виконавців геологорозвідувальних робіт у глибоководній частині Чорного моря, включати зобов'язання щодо вивчення потенційно гідратоносного шару.

Ще одне важливе завдання, яке необхідно вирішити в Україні в зв'язку з цією проблемою, – це придбання сучасної бурової платформи з можливістю буріння на глибинах моря понад 700 м, а краще започаткування спорудження платформ для глибоководного буріння на суднобудівних підприємствах України, оскільки світовий попит на такі платформи і судна стало зростає.

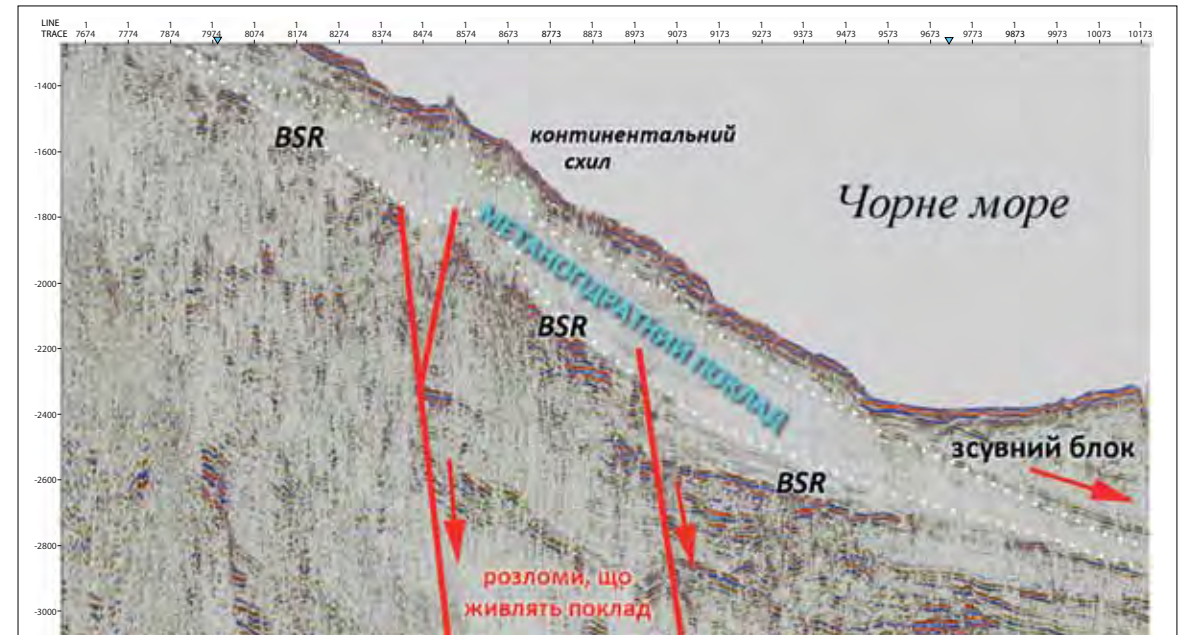


Рис. 6. Приклад виділення покладу метаногідратів на континентальному схилі північно-західної частини Чорного моря (сейсмопрофіль BS-05-26, часовий розріз)

Nankai Trough, Japan // Offshore Technology Conference, 5–8 May 2008, Houston, Texas, USA. – 2008. – 15 p.

4. **Egawa K.** et al. Three-dimensional paleomorphologic reconstruction and turbidite distribution prediction revealing a Pleistocene confined basin system in the northeast Nankai Trough area // AAPG Bulletin. – 2013. – No. 5. – P. 781–798.

5. **Vasilev A.** First Bulgarian Gas Hydrates: Assessment from Probable BSRs // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. – 2010. – № 2. – С. 22–26.

6. **Bohrmann G.** et al. Origin and distribution of methane and methane hydrates in the Black Sea. Meteor R/V Cruise No. 84, Leg 2, February 26 – April 02, 2011 // METEOR-Berichte, 2012. – 61 p.

7. **Heeschen K.U.** et al. Quantifying in-situ gas hydrates at active seep sites in the eastern Black Sea using pressure coring technique // Biogeosciences. – 2011. – No. 8. – P. 3555–3565.

8. **Сокур О.Н.** Мировой опыт подхода к решению проблемы использования газогидратов как источника энергетического сырья / О.Н. Сокур // 36. наук. праць Ін-ту геол. наук НАН України. – 2010. – Вип. 3. – С. 342–349.

9. **Popescu I.** et al. Seismic expression of gas and gas hydrates across the western Black Sea // Geo-Marine Letters, 2007, vol. 27, Issue 2–4. – P. 173–183.

10. **Naudts L.** et al. Geological and morphological setting of 2778 methane seeps in the Dnepr paleo-delta, northwestern Black Sea // Marine Geology 227, 2006. – P. 177–199.

11. **Holbrook, W.S.** Seismic studies of the Blake Ridge: implications for Hydrate distribution, methane expulsion, and free gas dynamics, in Paull, C.K., and Dillon, W.P. (Eds.) Natural Gas Hydrates: Occurrence, Distribution, and Detection Geophysical Monograph, American Geophysical Union (Publ.) 124: 2001. – P. 235–256.

12. **Макогон Ю.Ф.** Газогідрати Чорного моря / Ю.Ф. Макогон // Мат. IX Міжнар. наук.-практ. конф. «Нафта і газ України – 2013», Яремче, 4–6 вересня 2013 р. – Л.: «Центр Європи», 2013. – С. 174–175.

Список літератури

1. **Шнюков Е.Ф.** Газогідрати метана в Чёрном море / Е.Ф. Шнюков // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. – 2005. – № 2. – С. 41–52.
2. **Макогон Ю.Ф.** Газогідрати. История изучения и перспективы освоения / Ю.Ф. Макогон // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. – 2010. – № 2. – С. 5–21.
3. **Fujii T.** et al. Resource Assessment of Methane Hydrate in the Eastern