

О.М. Сокур

ГІДРАТОУТВОРЕННЯ В ЧОРНОМУ МОРІ

O.M. Sokur

FORMATION OF GAS HYDRATES IN THE BLACK SEA

Рассматриваются теоретические разработки и фактические данные, которые могут помочь в решении задач освоения газогидратов шельфа и глубоководной части Черного моря. Переинтерпретация материалов прошлых лет позволила выявить три зоны гидратообразования. Одна из структур — Голубиная, или Альфа, находится в пределах северо-западного шельфа. Разрабатываются дистанционные и прямые методы поисков газогидратных скоплений.

Ключевые слова: газогидраты, условия формирования, флюиды, глубинное вещество.

In the paper, the theoretical notions and field evidences are considered which can help to solve the tasks of gas hydrate development on the shelf and deep-water part of the Black Sea. Re-interpretation of previous data enables to recognize three zones of gas hydrate formation. One of the structures (Golubinaya, or Alpha) occurs in the margins of the northwestern shelf. The remote and direct methods are developed for search of gas hydrate accumulations.

Key words: gas hydrates, condition of formation, fluids, deep matter.

ВСТУП

Газогідрат, або клатрат, — це тверда речовина (лід), в якій молекули гідратоутворюючого газу втиснуті в просвіти кристалічної решітки води (льоду) без хімічного зв'язування їх молекул. Гідратоутворюючими газами є метан, етан, пропан, ізобутан, азот, аргон, діоксид вуглеводню, кисень, криптон, ксенон, озон, сірководень і хлор.

Газогідратоутворення відбувається при великій швидкості руху флюїдів і певному сполученні температури й тиску. Так, метаногідрат виникає при температурі 3°C і тиску ледве більше 2 МПа. А суміш із метану, сірководню, вуглекислого газу і пропану підвищує температуру і знижує тиск гідратоутворення так, що гідрат із суміші цих газів утворюється та існує в донних осадах, де глибина моря всього 50 м (наприклад, у Каспію).

Для України інтерес щодо вивчення газогідратів становить Азово-Чорноморський басейн. Проблема чорноморських газогідратів прямо пов'язана з дослідженням потоків глибинної речовини, зокрема вуглеводневих газів, що відображено в роботі В.Х. Геворк'яна і Ю.Г. Чугунного [1]. Самі газогідрати є часткою більш загальної проблеми з'ясування складу, шляхів міграції глибинних флюїдів, виявлення зон їх концентрації та впливу на вмещаючі породи, водну товщу й атмосферу. А.П. Клименко [5] першим висунув ідею, що газогідратна оболонка, ймовірно, властива всій оболонці земної кори і формується як в океанічних, так і конти-

нентальних умовах та не залежить від клімату. Цей же дослідник був ініціатором вивчення газогідратів в Україні.

МЕТОДИ ТА МАТЕРІАЛИ

Перші відомості про наявність газогідратів у Чорному морі наведені в роботі А.Г. Єфремової і Б.П. Жижченко [4]. Ними була описана колонка ґрунтів, піднята з глибини 2000 м. В осадах на глибині 6,5 м від поверхні дна виявлені білі ініє-подібні мікрокристалічні наростання в середині великих порожнин, які швидко випаровувалися при піднятті на борт судна.

Дані про більше, поширення газогідратних покладів були отримані в 1986 р. при аналізі сейсмічних профілів, пройдених у Туапсинському прогині і на материковому схилі на південний-захід від Анапи. В 1987–1989 рр. одержані аналогічні відомості по прикаримській частині материкового схилу.

Газогідрати виявлені в осадах безпосередньо на дні. Ймовірно, їх стабільність забезпечується рухом флюїдів — газом або газонасиченою водою. Гідратоутримання глиняної брекчії досягало 35%. Характерною особливістю газогідратів є висока концентрація газу на одиницю об'єму речовини. В кристалічній решітці льоду газ знаходиться в дуже стиснутому стані. Так, в 1 м³ клатрату утримується приблизно 200 м³ газу. За розрахунками А.А. Трофімука [9], в 1 м³ пористого осаду, насиченого газогідратом, утримується 30–60 м³ метану. Осадки можуть використовуватися як пошуковий критерій га-

зогідратів.

Було встановлено широкий розвиток газогідратів у поверхневих шарах осадків у глибоководній феодосійській частині прогину Сорокіна, у спорудах підводних грязьових вулканів і глинистих діпірів, у Центральній котловині та Західно-Чорноморській западині на південь від Криму.

Газогідрати знайдені на глибинах близько 2000 м; їх зв'язок з глинистим діпіризмом, грязьовими вулканами, складчастими зонами, ускладненими тектонічними порушеннями, однозначно свідчать про глибинне джерело первинних газів. Це дозволило А.С. Горшкову із співавторами [2] виділити два головних типи газогідратних покладів у глибоководних ділянках Чорного моря: 1) газогідрати, пов'язані з міграційними газами, що йдуть по тектонічних порушеннях і грязьових вулканах; 2) газогідрати конусів виносу рік. В.П. Немоконов і С.Н. Ступак [7] прийшли до висновку, що зона умов, сприятливих для процесів гідратоутворення в Чорному морі, починається з глибин 700–750 м. Потужність цієї зони оцінюється від 500 до 1000–1200 м.

Ураховуючи дані сейсморозвідки, була дана оцінка прогнозних запасів метану в Чорноморських газогідратних родовищах — 25–30 трлн м³ тільки для глибоководної частини моря.

При насиченні пор неконсолідованого осадку на 65–70% газогідратом у поверхневих шарах утворюється практично непроникний шар для нижчезалягаючого вільного газу, що є ідеальною літологічною покришкою. Не вдаючись у деталі проведених розрахунків і вихідної моделі гідратоутворення, відмітимо, що без достатніх підстав акваторія з глибинами менше 1000 м віднесена до районів, мало перспективних на пошуки газогідратних покладів.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Аналіз реальної термобаричної обстановки по всій акваторії, зіставлення її з експериментальними даними, а також наявні в нас дані про прямі знахідки газогідратів на малих глибинах і численні непрямі ознаки їх наявності, що супроводжують газогідратні поклади та їх поведінку в конкретній геологічній ситуації, дозволяють значно розширити область з умовами, сприятливими для формування газогідратів. На підставі детальних геологічних досліджень прямі знахідки газогідратів і супутніх їм

явищ свідчать, що мілководна зона шельфу, яка перебуває під юрисдикцією України площею приблизно 100 тис. км², є гідратоносною з потенційними запасами газогідратної сировини не нижче, ніж глибоководної частини акваторії (рис. 1).

За даними сейсмоакустичних профілів (рис. 2, а, б, в), які були зроблені в північно-західній частині Чорного моря, на глибинах до 100 м добре видно газовивідні канали. Це канали, по яких надходить газова суміш, з якої утворюються «курильщики».

Експериментально було встановлено, що чистий метан у присутності води при температурі +3°C і тиску 2 МПа утворює клатрат метану (метановий газогідрат). Ці параметри відповідають глибинам Чорного моря 200 м і більше. Суміш газоподібних вуглеводнів відповідає природному газу, при цій же температурі утворюється клатрат уже при тиску 0,5 МПа. На цю обставину звертав увагу Ю.Ф. Макогон [6]. Він відмітив, що природний газ, який є сумішшю переважно метану і деякої кількості його гомологів, утворює газогідрати вже на глибинах моря 300–350 м. При підвищенні температури до 10°C початок процесу гідратоутворення з чистого метану і води зміщується в область тисків понад 7 МПа, а при температурі 20°C — більше ніж 20 МПа. Однак суміш вуглеводневих газів (при домінуванні метану) у цьому випадку вимагає також більш низьких тисків — 1,3 і 8,0 МПа, відповідно.

Ці крайні граничні умови існування газогідратів і найменші їх зміни, такі як зняття тиску або підвищення температури, призведуть до «розтавання» газогідрату і відповідно виділення вільного метану як у водну товщу, так і в осадковий покрив. Нарівні з метаном при розкладанні газогідратного покладу в водяну товщу надходять й інші гази. Причому для зниження тиску досить порушення суцільності газогідратного покладу за рахунок таких широко розвинених у межах Чорноморського басейну явищ, як підводні зсуви і землетруси.

Менш відомі, але більше стабільні чорноморські газовиділення метану на шельфі Болгарії. В 1979 р. у зоні від мису Каліакра до траверзу Тюленівського нафтового родовища були докладно вивчені два поля найбільш активних природних газовиділень: Золоті Піски і Зеленка [3]. Крім того, відмічалися одиничні газовиділення в районах Балчика, Коварни, Каліакри, Тюленеве, в гирлі р. Камчія. Газ виділяється з

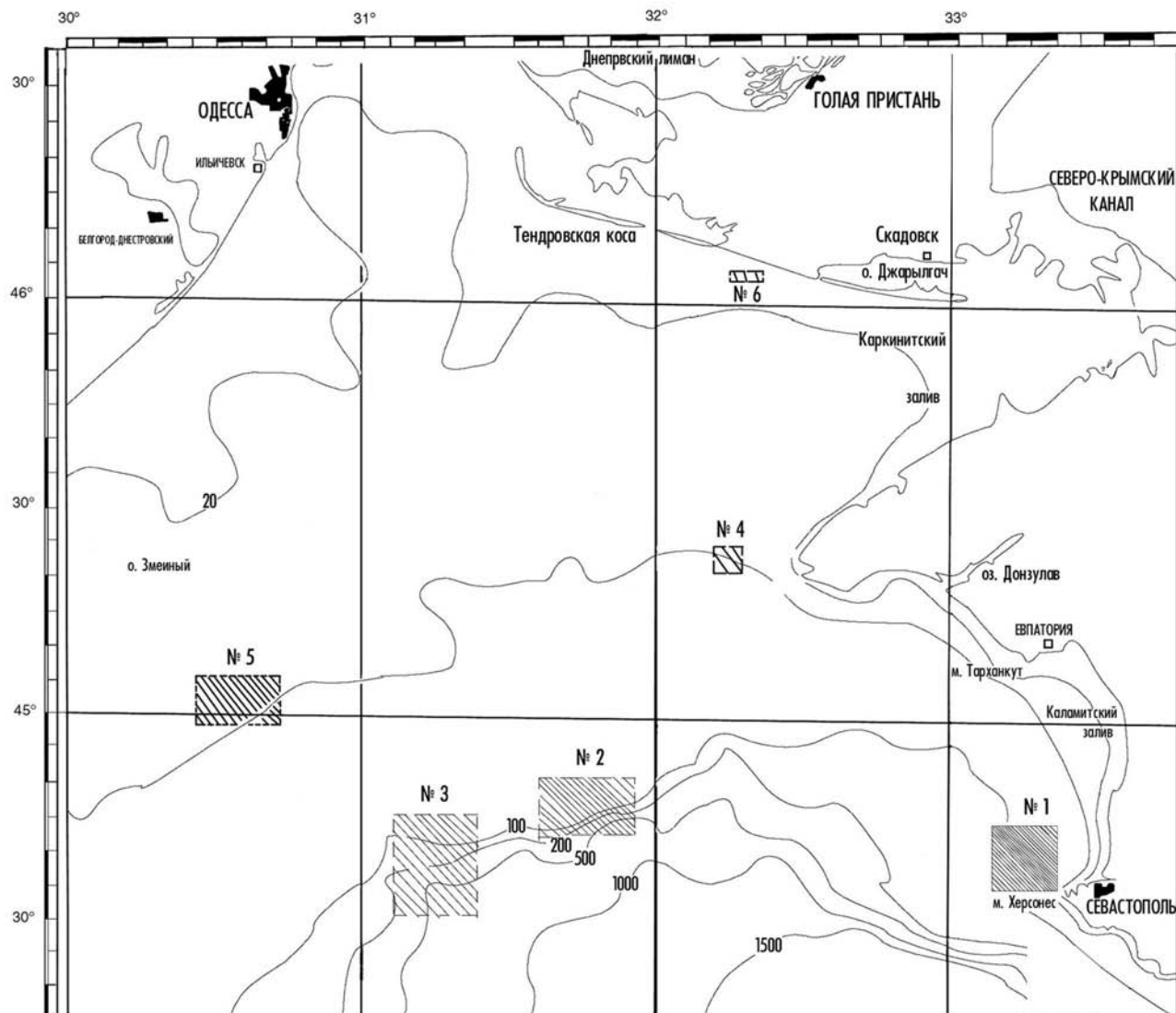


Рис. 1. Схема розташування газовиділень, виявлених при підводних роботах ПЛБ «Бентос-300»
 1 — гігантське Євпаторійське газовиділення; 2, 3 — поля обстежені ПЛБ «Бентос-300»;
 4 — поля обстежені ПА «Поиск-2»; 5 — район робіт ПЛБ «Бентос-300»; 6 — газові грифони коси Тендра

алеврито-піщаних відкладів у діапазоні глибин 5–20 м. Річний дебіт джерел за вимірами в шести точках на Золотих Пісках і 10 — Зеленики в сумі становив 87,5 млн м³. У складі газів переважає метан — 92–96%; присутні діоксид вуглеводню — 0,10–0,39%; кисень — 0,32–1,66%; азот — 3,93–5,16%.

В 1987 р. стало відомо про знахідку джерела газів у дельті Дунаю з підводного апарата «Аргус». Поле інтенсивних газовиділень було відкрито Г.Г. Полікарповим і В.Н. Єгоровим [8] зі співробітниками під час експедиції НДС «Профессор Водяницкий» у квітні 1989 р. у зоні переходу шельфу до материкового схилу у вершині Дунайського каньйону. Виходи газу фіксувалися як на поверхні, так і у вигляді «факелів», що виходять з донного субстрату і розсіюються у водній товщі, не доходячи до поверхні. Приурочені

вони до вузької смуги дна шириною 0,1–1,0 км, протяжністю до 3 миль, що простягається в субмеридіональному напрямку. Поряд з метаном в «факелах» виявлено сірководень.

З метою візуального огляду полів газовиділень у грудні 1989 р. була організована експедиція в складі ПЛБ «Бентос-300» і судна-забезпечення «Дивный», у результаті було виявлено ряд глибоководних «факелів», нові поля природних газовиділень і вперше описано структури, якими супроводжуються потоки газів.

Найбільше газовиділення зафіксовано в Євпаторійському каньйоні в районі з координатами центра 44°30'3" півн. ш., 32°14'5" сх. дов. На екрані ехолота горизонтального огляду ПЛБ «Бентос» у підводному положенні по горизонту — 156 м близько години спостерігалися «фа-

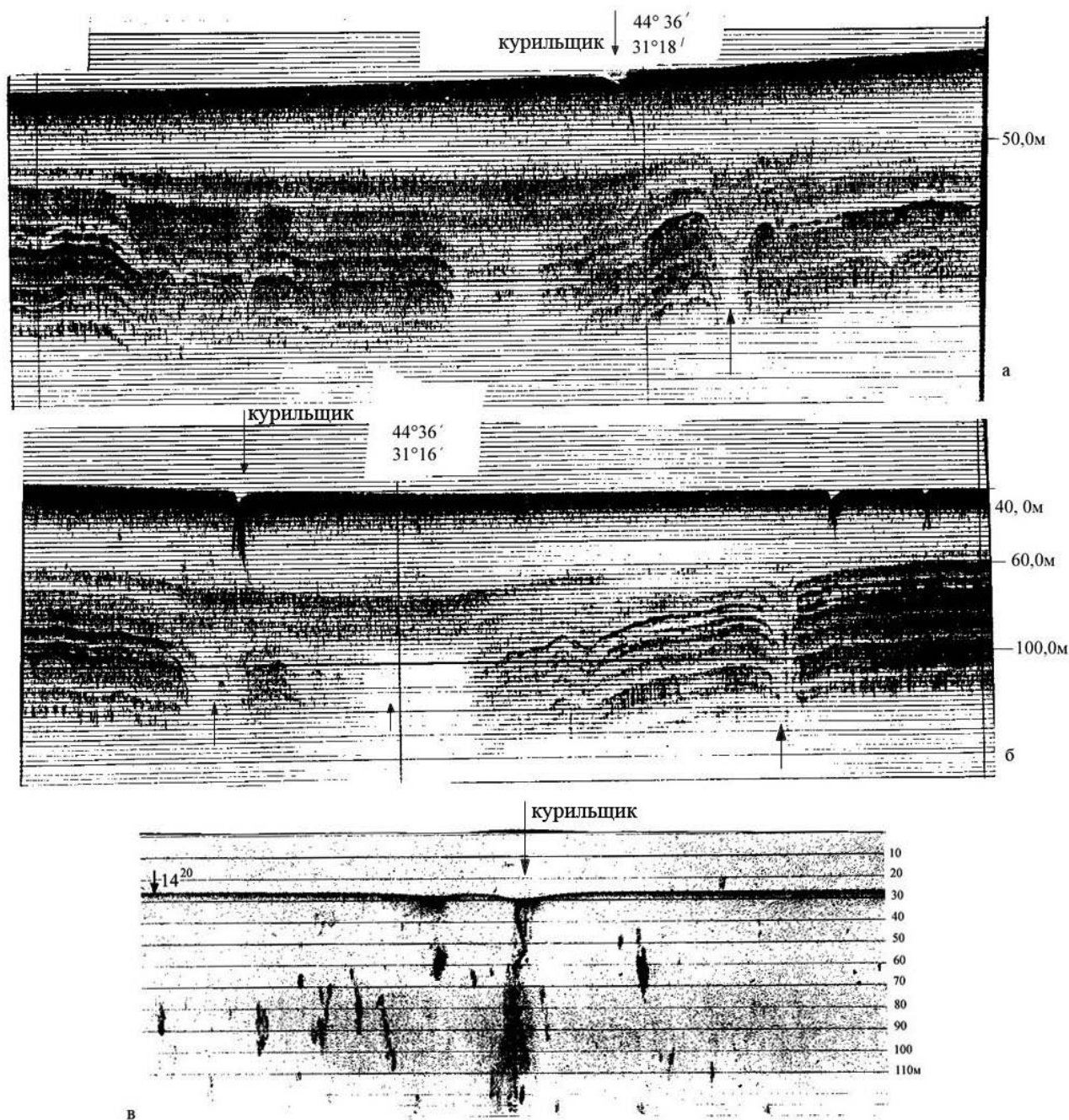


Рис. 2. Сейсмоакустичні профілі

тели» у вигляді окремих і перекриваючих одне одного стовпів шириною десятки метрів. Джерело газів перебуває на глибині 1000–1300 м від поверхні, в 150–260 м від дна «факели» розсіюються. Тут же відмічена структурна неоднорідність водної товщі, ймовірно, пов'язана зі зміною щільності води.

Експедицією 51-го рейсу НДС «Михаил Ломоносов», під керівництвом Є.Ф. Шнюкова [10] було виявлено «факел» в 28 милях на захід-південний-захід від Севастополя; характерні форми мікрорельєфу, на нашу думку, властиві підводним грязьовим вулканам; велику аку-

стичну аномалію у вигляді «хмари» розміром до 270 м над ґрунтом у діапазоні глибин 1400–1800 м: з глибини 900 м піднята колонка газонасичених мулів. Можливо, з газогідратами зв'язані і встановлені ділянки розпріснених вод. Пізніше ці дані були уточнені, зокрема виявлено три аномальних акустичних куполи довжиною до 1,5 милі і висотою 150–300 м, відмічено підвищення теплового потоку в центрі куполів і підвищення вмісту сірководню в морській воді.

Поле «факелів» було зафіксовано приблизно в 10 милях на схід від осьової частини Дунай-

ського каньйону в зоні брівки шельфу; воно приурочено до вершин пологих підняттяв на глибинах 160–270 м. Газові «факели» різної інтенсивності, деякі — переривчасті, починаються безпосередньо з дна, охоплюють площу 50–200 м, злегка нахилені на захід і не виходять на поверхню водної товщі, розсіюючись на глибинах приблизно 100 м.

Візуальне обстеження морського дна в межах цього поля показало, що поряд з потоками газів у водну товщу й осади надходить і рідка високомінералізована фаза. Це призводить до значних вторинних перетворень осадкового покриву, в результаті чого формуються досить своєрідні структурні елементи морського дна, представлені карбонатними спорудами у вигляді пустотілих блоків, плит, тонких покривів зцементованих мулів. Плити і покриви часто увінчані кораловидними і деревоподібними спорудами висотою до 2 м. Подекуди зустрічаються окремо стоячі вертикальні «труби» висотою до 1,5 м і більше, діаметром 20–25 см. Як правило, всі ці споруди розташовані в пониженнях дна глибиною 1,5 м і діаметром 4–5 м. Відстань змінюється від одиниць до десятків метрів, пониження вкриті чорними плямами сульфідних виділень і білим нальотом бактеріальних матів — скупченнями метанперероблюючих бактерій.

Значна частина споруд пасивна. Газ виділяється головним чином з відносно свіжих споруд, переважно з їх пустотілих закінчень. Характер виділення газів гейзерного типу. Період накопичення може тривати до 60 хв. з наступним виверженням у наростаючому темпі за 30–60 с. У складі газів 96% метану; відмічені водень, кисень, сірководень, діоксид і оксид вуглеводню. Гомологів метану не виявлено.

З цією метою за допомогою спеціального пробовідбірника на ПЛБ «Бентос-300» було відібрано ряд проб води для визначення сполук газів безпосередньо в зоні дії «курильщика» на глибині моря 61 м. Проби ретельно герметизувались та аналізувалися в Інституті фізичної хімії НАН України методом газової хроматографії з усіма можливими обережностями від забруднення атмосферними газами. За даним С.Б. Шехунової, фрагменти «курильщиків» насичені азотом.

Проведений хімічний аналіз чорноморських «курильщиків» показав, що ці споруди мають карбонатну сполуку; у складі газів переважає метан, сірководень посідає підпорядковане

місце. Генезис чорноморських «курильщиків» обумовлений геологічними факторами, одним з яких є надходження продуктів розкладання газогідратного покладу по розломах у водну товщу. Проаналізовані кірки і «курильщики» нараховують більше 40 елементів-домішок, серед яких відмічені такі, як Be, Sn, Ni, Bi, Ag, Au, Ti, Hf, Li, Th, As, Sb, що в осадах за межами «курильщиків» зустрічаються дуже рідко. В карбонатній речовині кірок і тілі «курильщиків» виявлено у значних кількостях золото — до 10 г/т, уран і торій — до 50 г/т. Такий комплекс малих елементів однозначно свідчить про глибинне джерело речовини мінералоутворення кірок і тіла «курильщиків». За даними Є.Ф. Шнюкова [12], вік трубчастих споруд досягає 9050 років.

Експедицією 1990 р. під керівництвом Є.Ф. Шнюкова було виявлено понад 150 газових «факелів» на глибинах 60–650 м практично по всьому периметру Чорного моря, за винятком економічної зони Туреччини. Дані були отримані і для північно-західної частини Чорного моря. Зокрема, відкрито пульсуюче газовиділення на глибині 67 м зі швидкістю підйому струменів газів 12–14 м/с. Виявлено нове поле «факелів» на глибині 226 м на ПЛБ «Бентос-300», а також газові «факели» в районі Анапи.

У процесі виконання підводних досліджень відмічалися численні побічні явища, пов'язані з газовиділеннями, такі як осідання ґрунтів, поверхневе сірководневе зараження, поява скупчень метанперероблюючих бактерій у вигляді бактеріальних матів, а також прямі знахідки газогідратів на мілководних ділянках у районі коси Тендра та у верхів'ях Дунайського каньйону.

Найімовірніше, що описані газовиділення пов'язані з глибинними процесами розкладання газогідратних покладів, обумовленими насамперед локальними порушеннями їх суцільності. Масштаби цього процесу можуть бути орієнтовно підраховані, виходячи з даних інструментального виміру потоку метану в межах двох полів болгарського шельфу, що становить 87,5 млн м³ на рік.

На теперішній час, за даними Є.Ф. Шнюкова [11], відомо понад 300 полів газовиділень різної інтенсивності. Можна припустити, що в сумі дно Чорного моря виділяє у водну товщу 1,640×10⁹ м³ метану на рік. Це свідчить про величезний енергетичний ресурс, зосереджений у величезній кількості в неміряних газогідратних покладах.

Наші методи пошуків скупчень газогідратів такі:

1. Сейсмічні — ґрунтуються на виділенні сигналів псевдодонного відбиття BRSV та аномалій хвильового поля VAMP.

2. Сейсмоакустичні — застосовується метод відбиття хвиль (MBX), що базується на реєстрації пружності хвиль, відбитих від літологічних і тектонічних границь у земній корі. Детальна сейсмоакустична зйомка дозволяє отримувати об'ємні моделі глибинних геологічних структур.

3. Газогеохімічні — аномалії утримання газу метану в осадах.

4. Біологічні — вивчаються метанвикористовуючі бактерії, які застосовують метан (та його гомологи) як джерело вуглеводневого харчування. Виявлено зв'язок з районами газовиділень і полями концентрацій метаноокислених бактерій.

5. Візуальні спостереження з підводних апаратів.

6. Геохімічні — фізичні і хімічні закономірності поведінки речовини в різноманітних термодинамічних умовах, дані про вміст і розподіл хімічних елементів та їх ізотопів в різноманітних об'єктах (водах, газах, живих організмах у земній корі та Землі в цілому). Отримані дані ґрунтуються на геологічній характеристиці об'єкта, методах визначення утримання і стану елементів у мінеральній, газоподібній і живій речовині.

ВИСНОВКИ

В результаті проведених досліджень в Інституті геологічних наук НАН України на підставі геофізичних, сейсмічних досліджень, а також переінтерпретації даних минулих років було виявлено три зони гідратоутворення з імовірними запасами, за мінімальними підрахунками 50–60 трлн м³ газу. Одна багатощарова структура (структура Голубина, або Альфа) детальними дослідженнями підготовлена для постановки бурових робіт і буріння параметричної свердловини. Очікувані запаси тільки з одного горизонту при коефіцієнті видобутку 0,1, за нашими підрахунками, становитимуть, 40–60 млрд м³ газу

(глибина моря 80 м).

Таким чином, наявні теоретичні розробки і фактичні дані настійно вимагають постановки комплексу фундаментальних і експериментальних робіт для вирішення провідної науково-практичної проблеми освоєння газогідратів Чорного моря для потреб народного господарства України.

1. Геворк'ян В.Х., Чугунный Ю.Г., Сорокин А.Л. и др. Геологические аспекты биологической продуктивности океана. — Мурманск: Мурман. кн. из-во, 1990. — 185 с.
2. Горшков А.С., Мейснер Л.Б., Тусолесов Д.А. Перспективы нефтегазоносности Черноморской глубоководной впадины // Геология морей и океанов: Тез. докл. 10-й Междунар. шк. мор. геологии (Геленджик, окт. 1992г.). — М., 1992. — Т. 3. — С. 219.
3. Димитров П.С., Дачев В.Ж., Николов Х.И. и др. Океанология. — Книга 4. София, 1979. — 95 с.
4. Ефремова А.Г., Жижченко Б.П. Обнаружение кристаллогидратов газов в осадках современных акваторий // Докл. АН СССР. — 1974. — Т. 214, № 5. — С. 1179–1181.
5. Клименко А.П. Клатраты (гидраты газов). — Киев: Наук. думка, 1989. — 76 с.
6. Макогон Ю.Ф. Газовые гидраты, предупреждение их образования и использования. — М.: Недра, 1985. — 232 с.
7. Немоконов В.П., Ступак С.Н. Признаки газогидратных залежей в Черном море // Изв. вузов. Геология и разведка. — 1988. — № 3. — С. 72–82.
8. Поликарпов Г.Г., Егоров В.И., Гулин М.Б., Гулин С.Б. Газовые ключи в Черном море // Наука и жизнь. — 1991. — № 8. — С. 28–31.
9. Трофимук А.А., Черский Н.В., Царев В.П. Газогидратные источники углеводородов // Природа. — 1987. — № 8. — С. 53–57.
10. Шнюков Е.Ф., Григорьев А.В., Безбородов А.А., Мавренко Н.И. Экспедиционные исследования в Черном море (51-й рейс НИС «Михаил Ломоносов», 11.11.–14.12.1989 г.) // Геол. журн. — 1990. — № 4. — С. 130–133.
11. Шнюков Е.Ф., Пасынков А.А., Клещенко С.А. и др. Газовые факелы на дне Черного моря. — Киев, 1999. — 133 с.
12. Шнюков Е.Ф., Старостенко В.И., Гожик П.Ф. и др. О газоотдаче дна Черного моря // Геол. журн. — 2001. — № 4. — С. 7–14.

Інститут геологічних наук НАН України, Київ

Рецензент — док. г.-м. наук В.Х. Геворк'ян