
І.Д. Багрій, М.Ю. Грига

Інститут геологічних наук НАН України

ПОШУКИ МЕТАНОГІДРАТІВ НА КОНТИНЕНТАЛЬНОМУ СХИЛІ ЧОРНОГО МОРЯ

Методику СТАГД (структурно-термо-атмогеохімічних досліджень) було адаптовано для пошуку покладів метаногідратів. Виявлено поклад метаногідратів в межах Британської площі на континентальному схилі Чорного моря.

Ключові слова: прогнозування покладів вуглеводнів, метаногідрати, схил Чорного моря.

Вступ

Одна з перспективних можливостей збільшення ресурсної бази для України та усього світу пов'язана з пошуками та розвідкою родовищ газогідратів. Газогідрати, як потенційні енергетичні ресурси вже активно досліджують в Японії, Китаї, Індії, США, Південній Кореї. Серед південних морів Євразії Чорне море має найбільші потенційні ресурси гідратного газу, зокрема метанового газогідрату [20]. Значні перспективи промислового освоєння, шляхів виникнення та можливостей пошуку газогідратів як світових акваторій, так і Азово-Чорноморського регіону, описано в багатьох роботах [2, 4, 5, 9, 10, 11, 12, 15, 17, 18, 19, 20, 21 та ін.] та є сучасним актуальним напрямком розвитку нафтогазової геології.

Вперше метанові газогідрати (меаногідрати) в Чорному морі було знайдено А. Г. Єфремовою та Б. П. Жижченко [7]. В ході наступних досліджень їх виявлено в 10—12 точках глибоководної западини Чорного моря [17 та ін.]. Передбачається, що основна маса газів та власне метану газогідратного покладу має глибинне походження [15, 17 та ін.]. Про це свідчить їх зв'язок з глиняним діапїризмом, грязьовими вулканами, складчастими зонами, ускладненими тектонічними порушеннями [15], розташуванням в зонах зовнішнього шельфу та материкового схилу в межах циркумчорноморського розлому та в зонах палеодолин, де фіксуються регіональні та глибинні розломи [17]. Було виділено два основних типи газогідратних покладів у глибоководних ділянках Чорного моря, а саме: 1 — газогідрати, пов'язані з міграційними газами, що надходять по розривах та грязьових вулканах; 2 — газогідрати конусів виносів річок [6].

© І.Д. БАГРІЙ, М.Ю. ГРИГА, 2015



Рис. 1. Британська площа на частині Карти фонду структур Чорного та Азовського морів (за матеріалами ТЦ ДГП «Укргеофізика», зі змінами авторів): 1 — ізобати глибини моря; 2 — локальні структури; 3 — Британська площа; 4 — глибинні розломи та порушення; 5 — субмеридіональні глибинні розривні порушення; тектонічне районування; 6 — виступи, вали; 7 — прогини, западини

Територія досліджень, названа «Британська площа», відповідає зоні континентального схилу на глибині 860—1200 м, в межах двох структур — Британська-1 та Британська-2 (рис. 1), які є перспективними для пошуків покладів вуглеводнів (ВВ). Метою роботи була апробація методики структурно-термо-атмогеохімічних досліджень (СТАГД) для виявлення покладів метаногідратів на Британській площі.

Методика

Методика СТАГД являє собою оригінальну, маловитратну, експресну запатентовану технологію, яка методологічно й інформаційно базується на системному аналізі геологічних передумов, зокрема низці сприятливих структурно-тектонічних, літолого-стратиграфічних, атмогеохімічних та термометричних ознак і критеріїв нафтогазоносності. Методологію СТАГД розроблено з позицій розломно-блокової тектоніки, на засадах осадово-міграційної теорії походження нафти і газу та геосинергетичної концепції природних вуглеводнегенерауючих систем [3], з урахуванням геодинамічних, сейсмо-геологічних, стратиграфічних, седиментологічних, флюїодинамічних, геохімічних та інших геологічних показників нафтогазонакопичення.

Як доведено геологічною практикою, такі зони активно впливають на умови формування та зберігання покладів ВВ, визначаючи місця активізації сучасних геодинамічних процесів, формування зон тріщинуватості та розущільнення гірських порід, шляхи міграції до земної поверхні різних за складом і походженням флюїдів, в тому числі й тих, що є індикаторами покладів ВВ. Саме ці їх особливості обумовлюють широке застосування при пошуках ВВ комплексу економічно менш витратних та дистанційних методів.

Основна увага при виконанні досліджень в межах Британської площі приділялась вирішенню двох задач:

1) визначенню геоструктурної позиції площі дослідження на основі аналізу розломно-блокової тектоніки та дешифрування аеро- та космофотознімків;

2) визначенню характеру параметрів нафтогазонакопичення, що, з одного боку, визначають шляхи міграції ВВ, а з другого — дозволяють оцінити сучасну герметичність потенційних пасток ВВ, необхідну для їх накопичення та збереження, на основі картування слабо порушених та слабофлюїдопроникних ділянок.

СТАГД на представленій території передбачала виконання комплексу морських експедиційних та лабораторних досліджень за такою схемою: геоструктурні дослідження, структурно-неотектонічне дешифрування аеро- і космофотознімків, польові термометричні та газово-еманаційні дослідження (Rn, вільні ВВ), обробка отриманих експериментальних даних та побудова картографічного матеріалу.

Геоструктурні дослідження мають за мету аналіз розломно-блокової тектоніки з урахуванням геодинамічних і морфокінематичних характеристик розломів та форм їх відображення у фундаменті і чохлі. Структурно-неотектонічне дешифрування космо- та аерофотознімків виконується з метою виявлення неотектонічно активних порушень на основі їх закономірного зв'язку з певними типами сучасних структур і формами рельєфу за допомогою структурного аналізу ландшафтно-геоморфологічних особливостей сучасної поверхні Землі.

Геоструктурна інформація є вихідною при виборі оптимальної мережі точок інструментальних польових робіт, що включають атмогеохімічні, термометричні та еманаційні радонметричні дослідження.

Теоретичною основою геохімічних пошуків родовищ ВВ є уявлення про дифузійно-фільтраційний масоперенос вуглеводневих газів (та низькомолекулярних рідких ВВ) із нафтогазових покладів у перекриваючі осадові породи [14, 16]. При пошуках ВВ газометрична зйомка виконується з метою виявлення аномалій концентрацій метану та його гомологів, а також алкенів. За просторовим розміщенням та інтенсивністю аномалій потоків ВВ оцінюється як загальна перспективність ділянки, так і ступінь герметизації прогнозованого нафтогазового покладу. В деяких випадках важливу інформацію надає визначення концентрацій вуглекислого газу, водню та гелію.

При радонметричних дослідженнях у морських акваторіях випробується придонний шар морської води. Найінформативнішим серед радіоактивних ізотопів придонної води є ^{222}Rn , основними джерелами підвищених концентрацій якого є підземні води в зонах субмаринного розвантаження. Внесок радону за рахунок інших шляхів надходження невеликий і звичайно на порядок менший, ніж фоновий вміст у водах рік, озер і морів. Оскільки планове розміщення таких зон контролюється розривними порушеннями, радонові аномалії дають можливість судити про просторове положення розломних зон підвищеної проникності [3].

Температурні аномалії донних відкладів використовуються як індикатори теплових потоків з місць накопичення ВВ [13], що дозволяє розглядати їх як додаткову характеристику вуглеводневих покладів.

Обробка та інтерпретація даних польових досліджень передбачає аналіз просторового розміщення та зіставлення аномалій різноманітних параметрів еманаційного поля, полів вуглекислого газу, гелію, вуглеводнів і температури на основі ГІС-технологій та методів статистичного аналізу. З урахуванням цих даних створюються картографічні моделі досліджуваної території, за якими відображуються прогнози контури покладів ВВ.

В процесі СТАГД в межах Британської площі геохімічна зйомка виконувалась одночасно з еманційною і термометричною. Відбір проб проводився в межах тих самих станцій і з тієї ж глибини. Відбір проб придонної води було виконано пробовідбірником-дегазатором ПДБК-3М — приладом, розробленим фахівцями ІГН НАН України. Проби газів досліджувалися на хроматографах, а еманційні дослідження здійснювались в автономній лабораторії на борту судна. В процесі зондування дна шляхом занурення спеціально розроблених термозондів у донні відклади на глибину до одного метра проводились вимірювання температури, глибини дна водойми та глибини занурення датчиків. В процесі експедиційних СТАГД на Британській площі було отримано фактичні матеріали з 26 станцій в сумарній кількості 312 вимірювань.

Об'єкт досліджень

Британська площа розташована на території північно-західної частини континентального схилу, в межах підводного масиву Ломоносова, а саме в його крайній західній частині (рис. 1). З півночі масив обмежений прогином Дворянииа, з півдня — Північно-Євксинським розломом, з заходу — Одеським субмеридіональним глибинним розломом. Ломоносівський підводний масив було відкрито в 1989 році з борту науково-дослідного судна «Михайло Ломоносов» експедицією під керівництвом академіка Є.Ф. Шнюкова. На сьогоднішній день це єдине відоме відслонення кристалічних порід на дні Чорного моря. Складний розподіл вулканічних і плутонічних гірських порід різного (крейда-палеоген) віку в межах одного масиву визначається значною мірою тим, що підводний масив Ломоносова лежить на межі різних типів кори. Тут спостерігається складна структура фундаменту, наявність окремих блоків, включень гетерогенних вулканічних утворень [8].

Ця частина континентального схилу Чорного моря ускладнена системою субпаралельних каньйонів V-подібної форми шириною 150—2500 м, глибиною 400—500 м до 1000 м. Пошуки родовищ у гідрогеологічних басейнах по тектонічних порушеннях, в блоках між ними, в долинах річок (в тому числі і прарічок), каньйонів чи в безпосередній близькості від них на перетині цих морфоструктур тектонічними порушеннями мають великі перспективи.

Структури Британська-1 та Британська-2 виділено сейсморозвідкою МЗГТ в 2001р. ПЦМГД «Одесморгео» ДГП «Укргеофізика» за даними інтерпретації регіональних профілів WG (1994р.) [2]. За структурною картою по горизонту відбиття IV (підшва нижньої крейди) вони виділяються як просторово зближені субпаралельні антиклінали північно-східного простягання розмірами відповідно $11 \times 1,5$ і $4 \times 1,2$ км. Більша за розмірами структура Британська-1 ускладнена двома куполами. Ці антиклінали розділені між собою та обмежені з півночі й півдня узгодженими по простягання розривними порушеннями. У поперечному перетині структури Британська-1 та Британська-2 відповідають окремим уступам континентального схилу, що ускладнюють його та мають характерну зворотно-східчасту будову, зумовлену лістричною динамікою блокових перемішень [2].

Результати досліджень

На території досліджень в межах Британської площі було отримано дані про концентрацію насичених вуглеводнів: метану (CH_4), етану (C_2H_6), пропану (C_3H_8), ізобутану ($i\text{C}_4\text{H}_{10}$), бутану ($n\text{C}_4\text{H}_{10}$); ненасичених вуглеводнів: етилену (C_2H_4), пропілену (C_3H_6); радону (Rn). Також визначено температуру донних відкладів (Т) та глибину дна водойми (Н). Проаналізовано закономірності розподілу газових, еманційних і температурних показників. Визначено кореляційні зв'язки між газовими параметрами, реалізовано факторний аналіз, побудовано карти розподілу інформативних показників на території досліджень.

Слід зазначити, що на Британській площі серед вуглеводневих газів лише метан, етан та етилен було зареєстровано на всіх станціях СТАГД, бутани та пропілен — в поодиноких пробах, а пропан — в третині відібраних проб. Метан складає понад 99 % від концентрацій усіх вуглеводневих газів, зареєстрованих на території досліджень. Відзначимо, що значення концентрації метану на 4–5 порядків вищі ніж зареєстровані в межах північно-західного шельфу Чорного моря, зокрема на Одеському та Безіменому газових родовищах [3]. Концентрації етану також вищі в середньому на два порядки. Значення концентрацій водню та етилену, навпаки, на два порядки менші.

За результатами факторного аналізу атмогеохімічних показників методом головних компонент було визначено, що на досліджену систему впливають чотири основні фактори серед п'ятьох розрахованих. Перший фактор представлений етаном, який характеризує систему на 38 %. Другий фактор представлений метаном (31 %). До третього фактора входить водень (6 %), і до четвертого — вуглекислий газ (9 %). Перші два фактори є основними.

Інформативними показниками нафтогазоносності в межах Британської площі виявилися метан, етан, водень, вуглекислий газ, а також, як незалежні показники, радон і температура донних відкладів. Сумарний картографічний матеріал інформативних показників об'єднано в таблицю.

За результатами СТАГД (рис. 2) прогнозується наявність вуглеводневого насичення в межах Британської групи структур. Розподіл концентрацій метану на-

Обернена матриця факторних відображень F та показники дисперсій σ атмогеохімічних показників на Британській площі

F	F1	F2	F3	F4	F5
CH_4	0,11	0,93	0,17	-0,13	-0,27
C_2H_6	0,93	0,11	0,06	-0,28	0,22
C_2H_4	0,22	-0,28	0,03	-0,12	0,92
H_2	0,05	0,14	0,99	-0,07	0,03
CO_2	-0,26	-0,12	-0,08	0,95	-0,11
σ (%)	38	31	16	9	5

Сірим виділено значущі показники в межах кожного фактора

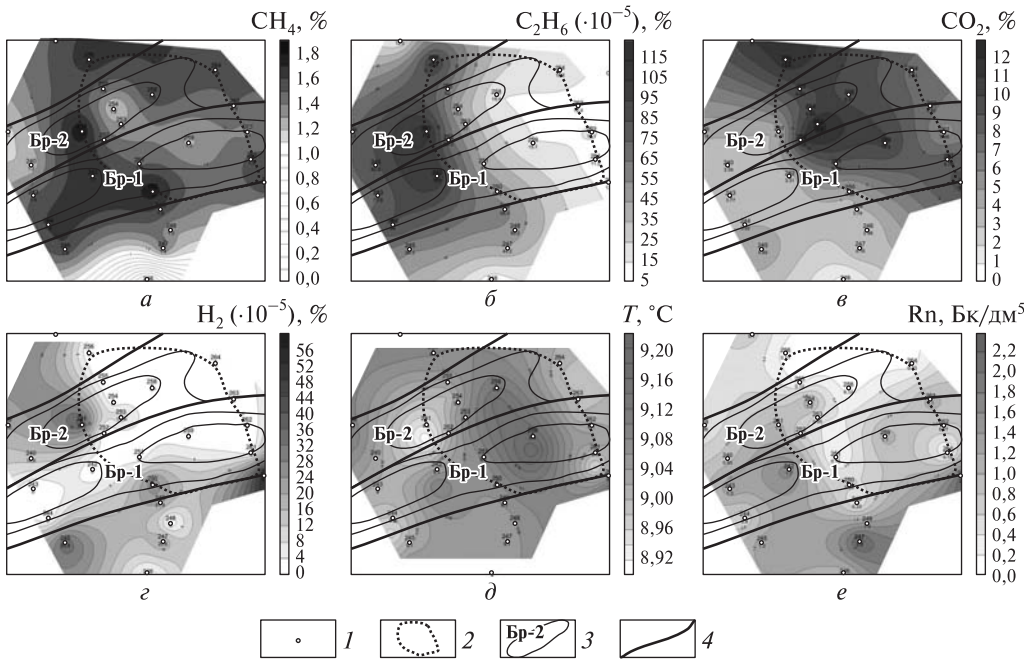


Рис. 2. Розподіл інформативних показників СТАГД на території досліджень: *а* — карта розподілу концентрації метану, *б* — карта розподілу концентрації етану, *в* — карта розподілу концентрації вуглекислого газу, *г* — карта розподілу концентрації водню, *д* — карта розподілу концентрації температури донних відкладів, *е* — карта розподілу концентрації радону. Умовні позначення: 1 — станції СТАГД, 2 — прогнозна ділянка на пошуки покладів метаногідратів, виділена за результатами аналізу аномального поля розподілу концентрацій метану, 3 — контури структур Британська-1 і Британська-2 по горизонту відбиття IV, 4 — розривні порушення

буває вигляд типової кільцевої аномалії. Такий характер аномального поля є одним з пошукових критеріїв вуглеводневих покладів [3, 14]. Кільцеві аномалії характеризуються максимальними значеннями показників на периферії та мінімальними в центральній частині аномальної зони. Кільцева аномалія метану розташована в межах східних частин структур Британська-1 та Британська-2. (рис. 2, *а*).

Водень та етан створюють часткову кільцеву аномалію навколо прогнозного покладу за аномальним полем метану, з мінімальними показниками або відсутніми показниками (для водню) в його межах (рис. 2, *б*, *г*). Подібні особливості відображення покладу в газогеохімічних полях можуть бути спричинені тим, що метаногідратний поклад є непроникною товщею для газів, що поступають з надр [11, 17].

Для вуглекислого газу, навпаки, характерні підвищені показники в межах покладу, які створюють центральну контрастну аномалію (рис. 2, *в*). Подібне відображення аномального поля притаманне також і температурі донних відкладів (рис. 2, *д*). Для території досліджень характерні аномально високі температурні показники. Пересічно вони складають 9 °С, а їх максимальні значення сягають 9,2 °С, що є одними з найвищих значень температури донних відкладів, зареєстрованих на всіх площах СТАГД в межах північно-західної акваторії Чор-

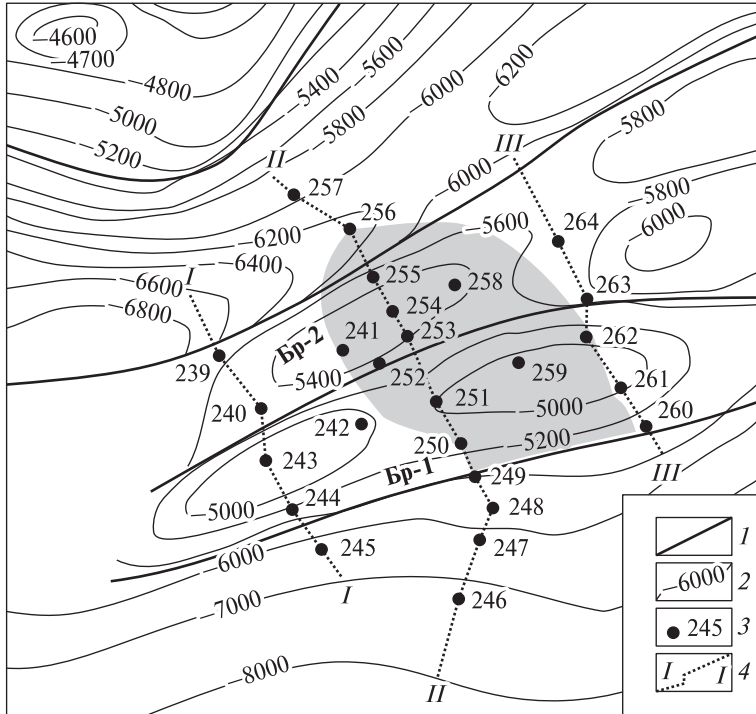


Рис. 3. Ділянка, перспективна для пошуків покладу метаногідратів в межах Британської площі. 1 – розломні зони; 2 – ізогіпси горизонту відбиття IV; 3 – станції СТАГД; 4 – профілі СТАГД

ного моря. Позитивні температурні аномалії можуть вказувати на наявність газозового покладу [13]. Найвищі температурні показники зареєстровані в межах центральної частини кільцевої аномалії метану (рис. 2, д).

Аномальне радонове поле, яке є картувальною ознакою тектонічно напружених зон, оконтурює кільцеву аномалію метану та виділяє в її межах геодинамічно-стабільну зону (рис. 2, е). Локальне підвищення концентрації радону, яке простежується на заході структури Британська-1, може бути ознакою наявності каналів розвантаження газових потоків. Мінімальні значення концентрацій радону спостерігаються в межах структури Британська-2.

Висновки

Основні прогностичні перспективи території досліджень в межах Британської площі за результатами СТАГД пов'язують з газовим покладом, який виділяється в аномальних полях метану, етану, водню (кільцеві аномалія), вуглекислого газу і температури донних відкладів (центральні аномалії). Поклад «герметичий», на що вказує розподіл аномальних показників концентрацій радону.

Газовий поклад на Британській площі трактується саме як поклад метаногідратів, зважаючи на значні показники концентрацій метану (на порядки більші, ніж над газовими родовищами шельфової зони), його здатність екранувати підток глибинних компонентів, в тому числі водню, частково етану та ін.

ВВ, а також відсутність співпадіння з контурами структур, що є типовою характеристикою усіх прогнозних ділянок в межах північно-західного та Прикерченського шельфу і схилу Чорного моря [2, 3]. Прогнозний поклад зображено на рис. 3.

Отже, передбачається, що в межах Британської площі вуглеводні шляхом міграції з нижчезалягаючих нафтогазоперспективних товщ структур Британська-1 та Британська-2, за сприятливих термодинамічних умов та гідрологічних і гідрогеохімічних режимів, утворили поклад метаногідратів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Багрій І.Д. Прогнозування вуглеводневих покладів на континентальному схилі західно-чорноморської западини (за атмогеохімічними та температурними даними). // Геол. журн. — 2010. — № 1. — С. 66—76.
2. Багрій І.Д. Розробка геолого-структурно-термо-атмогеохімічної технології прогнозування пошуків корисних копалин та оцінки геоекологічного стану довкілля. — К.: Логос, 2013. — 511 с.
3. Гожик П.Ф., Багрій І.Д., Войцицький З.Я. та ін. Геолого-структурно-термоатмогеохімічне обґрунтування нафтогазоносності Азово-Чорноморської акваторії. — К.: Логос, 2010. — 419 с.
4. Гожик П.Ф., Багрій І.Д., Знаменська Т.О. та ін. Геолого-термоатмогеохімічні передумови вуглеводневої перспективності континентального схилу західно-чорноморської западини. Геол. журн. — 2008. — № 3. — С. 95—107.
5. Гожик П.Ф., Краюшкін В.А., Ключко В.П. К проблеме промышленного освоения черноморских газогидратов в прибрежье Украины. // Геол. журн. — 2004. — № 2. — С. 7—20.
6. Горшков А.С., Мейснер Л.Б., Туголесов Д.А. Перспективы нефтегазоносности Черноморской глубоководной впадины // Геология морей и океанов. Тез. докл. 10 Междунар. школы морской геологии. — 3. — М., 1992. — С. 219.
7. Сфремова А.Г., Жижченко Б.П. Обнаружение кристаллогидратов газов в осадках современных акваторий // Докл. АН СССР. — 1974. — 214, № 5. — С. 1179—1181.
8. Коболев В.П. Геодинамічна еволюція Чорноморської мегазападини та структур її обрамлення (за геофізичними даними): автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра геолог. наук: 04.00.22 / В. П. Коболев. — К., 2002. — 36 с.
9. Лукин А.Е. О Роли процессов газогидратообразования в формировании нефтегазоносных бассейнов. // Геол. журн. — 2007. — № 2. — С. 7—29.
10. Макогон Ю.Ф. Газогидраты. История изучения и перспективы освоения. // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. — 2010. — № 2. — С. 5—21.
11. Макогон Ю.Ф. Газогидраты Черного моря. // Нафта і газ України. Матеріали 9-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Нафта і газ України — 2013». — Л.: «Центр Європи». — 2013. — С. 174—175.
12. Макогон Ю.Ф. Природные газовые гидраты: распространение, модели образования, ресурсы. // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д. И. Менделеева). — 2003, — тXLVII, — № 3, — С. 70—79.
13. Осадчий В.Г., Куксов Г.А., Ковалик В.В. Морская геотермосъемка — К.: Наукова думка, 1974.
14. Соколов В.А. Геохимия природных газов. — М.: Недра, 1971. — 333 с.
15. Сокур О.Н., Геворкян В.Х. Стратегический резерв углеводородного сырья XXI столетия — метановые газогидраты морских бассейнов // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. — 2006. — № 3. — С. 52—61.
16. Справочник по геохимии нефти и газа / под ред. С. Г. Неручева. — СПб.: Недра, 1998. — 576 с.
17. Шнюков Е.Ф. Газогидраты метана в Черном море // Геолог. и пол. ископ. Мирового океана. — 2005. — № 2. — С. 41—52.
18. Шнюков Е.Ф., Гожик П.Ф., Краюшкін В.О., Ключко В.П. Напередодні світової розробки субмаринних метаногідратів // Геол. Журн. — 2007. — № 1. — С. 12—18.

19. Шнюков Е.Ф., Гожик П. Ф., Краюшкін В. О., Клочко В. П. В трех шагах от субмаринной добычи газогидратов // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. — 2007. — № 1. — С. 32—51.
20. Шнюков Е.Ф., Коболев В.П., Пасынков А.А. Газовый вулканизм Черного моря / Е.Ф. Шнюков, В.П. Коболев, А.А. Пасынков. — К.: Логос, 2013. — 384 с.
21. Шнюков Е.Ф., Коболев В.П., Русаков О.М., Маслаков Н.А. Метан в осадках и водной толще Черного моря: формирование, пути переноса и роль в углеродном цикле (обзор материалов международного семинара) // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. — 2005. — № 2. — С. 135—149.
22. Antipov Tziriti. In situ detection of natural gas hydrates using electrical and thermal properties / Offshore technology research center, 1998. — 219 p.

Статья поступила 21.10.2014

И. Д. Багрий, М. Ю. Грига

ПОИСКИ МЕТАНОГИДРАТОВ НА КОНТИНЕНТАЛЬНОМ СКЛОНЕ ЧЕРНОГО МОРЯ

Методика СТАГИ (структурно-термо-атмогеохимических исследований) была адаптирована для поиска метаногидратов. Была выявлена залежь метаногидратов на Британской площади континентального склона Черного моря.

Ключевые слова: *Метаногидраты, склон Черного моря.*

I. D. Bagriy, M. Yu. Griga

SEARCHING FOR METHANE HYDRATES ON THE CONTINENTAL SLOPE OF THE BLACK SEA

The STAGS (structural-thermometric-atmogeochemical studies) technology was adapted for search for gas hydrate fields. Gas hydrate field in the Black sea slope was detected and delineated.

Key words: *gas hydrates, Black Sea slope.*