

УДК 553.981:551.351.2 (262.5)
DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.89.14>

О. Омельчук, канд. геол.-мінералог. наук, доц.,
E-mail: msstesha@ukr.net,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна;
О. Сокур, канд. геол. наук,
E-mail: bytiti@ukr.net,
Інститут геологічних наук НАН України,
вул. О. Гончара, 55-б, м. Київ, 01054, Україна

ПРОЦЕСИ ГЛИБИННОЇ ДЕГАЗАЦІЇ ЗЕМЛІ ЯК ПРИЧИНА УТВОРЕННЯ ДОННИХ КАРБОНАТНИХ СПОРУД У ШЕЛЬФОВИХ ЗОНАХ ОКЕАНУ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, доц. С.Є. Шнюковим)

Розглянуто донні карбонатні утворення північно-західної частини Чорного моря та західного шельфу Південно-Китайського моря. Фактичний матеріал для даних досліджень було отримано при проведенні підводних робіт у Чорному морі за допомогою підводної лабораторії "Бентос-300", у Південно-Китайському морі з використанням підводного апарату "Север-2".

У результаті проведених досліджень було виявлено виділення газів з донних відкладів, зокрема з карбонатних споруд на глибинах 160–300 м. Ландшафтно-геологічна обстановка на морському дні досліджувалась за допомогою прямих спостережень полів газовиділень. В їх межах було встановлено, що газова компонента є тільки частиною флюїдного потоку, падає на рідку мінералізовану фазу, яка насичена розчинними сполуками. У морській воді, що характеризується іншими гідрохімічними параметрами, відбувається процес біохемогенного осадження, переважно карбонату кальцію з флюїдного потоку.

Визначено зв'язок типів споруд з глибиною моря та рельєфом дна. Найбільша кількість карбонатних утворень приурочена до вершинних ділянок гряд, на схилах споруди розріджені і кількість їх зменшується. На глибинах 160–190 м переважають покривні утворення монолітних, дуже міцних порід у вигляді масивних блоків завтовшки 40–60 см. Характер розподілу карбонату кальцію за розрізом кірок та плитчастих форм вказує на зв'язок флюїдного потоку з латеральним розподілом мінералізованих вод у придонному шарі вздовж поверхні осадового субстрату.

Порівняльні дані про речовинний склад карбонатних споруд Чорного та Південно-Китайського морів свідчать про те, що вони характеризуються загальними рисами глибинної вуглеводневої дегазації, а також тектоно-геодинамічною подібністю районів їх поширення. Враховуючи те, що у межах в'єтнамського шельфу вже відкриті і розробляються великі родовища нафти і газу, перспективи відкриття аналогічних родовищ у північно-західній частині Чорного моря є досить обґрунтованими. Результати вивчення карбонатних утворень у Чорному морі можна використовувати для прогнозування і пошуку вуглеводневої сировини.

Ключові слова: глибинна дегація Землі, карбонатні споруди, вуглеводнева сировина, шельфові зони океану.

Вступ. Під час робіт у Чорному морі (Поликарпов і др., 1989), при обстеженні мідієвих банок на південь від коси Тендра та о-ва Джарилгач підводною лабораторією "Бентос-300" на рівному дні, складеному алевритоглинистими карбонатними мулами, на глибині близько 22 м були виявлені конічні споруди (газові грифони) діаметром і висотою близько 0,5 м. З їх вершин візуально спостігалось виділення газу, імовірно метану. Температурна аномалія, виявлена при зондуванні поверхні дна з борту НДС "Професор Водяницький" у цьому районі, супроводжується збільшенням біомаси метанпереробної мікрофлори в поверхневому шарі осадків, що є однозначним підтвердженням присутності метану в таких газовиділеннях (Геворкян і др., 1990; Лялько і др., 1978).

Широкомасштабне виділення газів з донних відкладів було виявлено у північно-західній частині чорноморського шельфу під час експедиції НДС "Професор Водяницький" (Поликарпов і др., 1989). На ехограмах високочастотного ехолота вони проявлені у вигляді вертикальних "факелів" різної інтенсивності, часто переривчастих, що розсіюються у водній товщі не доходячи до поверхні.

Навіть попередня кількісна оцінка надходжень метану (і сірководню) у водну товщу показала, що вони повинні не тільки впливати на характер седиментаційних процесів, їх взаємодію з донним субстратом та геохімічний режим осадоногопичення, але й мати величезне значення для формування екологічної ситуації.

Прямі спостереження у межах полів газовиділень підтвердили їх переважно метановий склад (Шнюков і др., 2001). Однак встановлено (Геворкян і др., 1991), що газовий компонент є тільки частиною флюїдного потоку. Основна його складова припадає на рідку мінералізовану фазу, яка насичена розчинними сполуками. У морській воді, що характеризується іншими гідрохімічними параметрами, відбувається процес накладеного біохемогенного осадження з флюїдного потоку переважно

карбонату кальцію, що супроводжується карбонатизацією осадового покриву, утворенням на його поверхні кірок, монолітних і пустотілих плит та особливих структурних форм (газових грифонів), названих за формальною аналогією з "чорними курцями" рифтових зон "чорноморськими курцями" (Геворкян і др., 2005) (інші назви "білі" або "метанові курці").

Подібні утворення виявлені й в інших районах Світового океану – Північне море (Havland, 1984; Havland et al., 1987), шельф В'єтнаму (Сокур і Омельчук, 2019¹, 2019²). Принаймні в деяких випадках вони просторово асоціюють з родовищами вуглеводнів. Однак на теперішній час не виконано їх достатньо повне коректне порівняння і типізація, а також остаточно не встановлено зв'язок з процесами глибинної дегазації, у т. ч. й у прогнозно-пошуковому аспекті.

Мета роботи полягає у встановленні відмін у речовинному складі "білих курців" північно-західної частини Чорного моря та аналогічних утворень В'єтнамського шельфу, які утворились у принципово інших геологічних умовах. При цьому важливим є оптимізація методики таких досліджень.

Методика досліджень. Інститутом геологічних наук НАН України разом з Інститутом біології південних морів НАН України і Базою спецфлоту та підводних апаратів "Гідронавт" була розроблена програма спільного вивчення цього явища. Поряд з традиційними методами досліджень – геологічними, океанографічними та біологічними, були використані підводні глибоководні населені апарати, насамперед підводна лабораторія "Бентос-300" (ПЛБ), з метою візуального обстеження полів газовиділень, отримання найбільш достовірної інформації про ситуацію на морському дні, цілеспрямованого відбору проб донних відкладів, води, газу. Вибір підводної лабораторії "Бентос-300" був зумовлений тим, що її устаткування дозволяло відбирати проби води з будь-

якого заданого горизонту та, за допомогою барокомплексу, виконувати водолазні роботи до глибини 250 м, а також проводити прецизійну батиметричну зйомку та ландшафтне картування. Безперервні підводні спостереження виконувались протягом 8–12 діб залежно від режиму роботи (буксирувальний або автономний).

Для відбору зразків в ПЛБ передбачено пристрій, що забезпечує вихід водолазів з лабораторії на глибинах до 200 м.

Коротка характеристика району досліджень. Виходячи з інтенсивності потоків газової компоненти флюїду, у **Чорному морі** для дослідження було обране поле газовиділень субмеридіонального простягання з координатами умовного центру 44°40'6" п. ш., 31°18'9" с. д. Поле газовиділень виходить далеко за межі обстеженої зони, що становить 3,7 милі по простяганню при ширині більше 1000 м (глибини 150–260 м). Морфологічно ця площа приурочена до східного борту Одеського каньйону, характеризується улоговинно-грядовим рельєфом, виположенням на глибинах до 200 м. Тут ширина балок і гряд варіює від сотень до тисяч метрів при перепаді висот до 30 м і кутами нахилу не більше 1°. Ближче до материкового схилу рельєф становиться більш контррастним, ширина гряд зменшується, крутість схилів досягає 12° при перепаді висот до 100 м, деякі гряди набувають східчасту терасовану будову. Ширина виположених горизонтальних терас не перевищує 100 м. Дно складене сірими із зеленуватим відтінком глинистими мулами, місцями перекритими великою кількістю білого органогенного детриту (бактеріальні мати). На поверхні осади відзначаються борозни – сліди скочування різних уламків, ямки, що інколи утворюють ямчасто-бугорчатий мікрорельєф. Зсувні явища виражаються в появі гофрованої поверхні осадового покриву.

Зразки карбонатних споруд були отримані також у межах **шельфової зони Південно-Китайського моря** за допомогою донного тралу та глибоководного підводного апарату.

Одержані результати та їх обговорення. На поверхні донного субстрату виявлялися хаотично розкидані численні уламки порід з максимальним розміром до 1–2 м. Відзначаються тонкі кіркоподібні покриви, що утворюють похилі козики, які нависають над осадами. Імовірно, первинною формою цих утворень була тонка, але міцна карбонатна кірка на поверхні мулів, що утворила козики у результаті розмиву підстильних осади придонними течіями, які досягають у даному районі швидкості до 1 м/с у штормовий період (Геворк'ян і др., 1991). Зустрічаються зовні масивні, однак пустотілі плитчасті форми, окремі вертикальні "труби" заввишки до 1,5 м і в діаметрі більше 20 см, аналогічні горизонтальні утворення завдовжки до 3 м, коритоподібні фрагменти трубчастих споруд. Плити і покриви часто закінчуються корало- і деревоподібними пустотілими спорудами. Зустрічаються сполучення округлих плитчастих форм, безформних наростів і деревоподібних споруд заввишки до 2 м. Ці утворення часто згруповані, відстань між такими спорудами та їхніми фрагментами становить іноді не більше 1 м (рис. 1, 2).

Простежується певний зв'язок типів споруд із глибиною та рельєфом дна. Найбільш щільно "забудовані" верхові ділянки гряд, на схилах споруди розріджені і кількість їх зменшується. На глибинах 160–190 м переважають покривні утворення монолітних, дуже міцних порід у вигляді тонких покривів або масивних блоків завтовшки 40–60 см, однак при роздавлуванні масивні блоки виявлялися пустотілими (рис. 1, а, б та 2, а, б). Зустрічаються фрагменти покривів і плит. Часто вони підмиті й утворюють гігантські гриби або нависаючі під кутом до поверхні дна навіси (рис. 1, в, д та 2, в, г). Деякі

з описаних утворень перекриті сучасними осадами і виявляються по нерівностях поверхні осади чорними плямами сульфідного зараження та скупченнями мікрофлори у вигляді білих бактеріальних матів, що обрамляють поховані споруди.

Поряд з газами "чорноморські курці" виносять і мінералізовану рідку фазу, склад якої, різні темпи надходження і субстратна специфічність донних відкладів, призводять до створення, у зоні геохімічного бар'єру вода-осад, різноманітних форм споруд.

Так, тонкі кіркоподібні утворення є результатом осаження карбонату кальцію при латеральній міграції рідкої фази флюїдів по поверхні осадового покриву. На поверхні осади формується дуже міцна мармуроподібна плівка. Проникаючи з поверхні в глиб осади, розчинена мінеральна речовина повністю перетворює вмісні алевро-глинисті і глинисті слабокарбонатні мули у глинисті вапняки або мергелі потужністю 5–10 см. Такі "кірки" лежать на новоевксинських і давньочорноморських в'язках, місцями напіврідкої консистенції, мулах з багатою фауною *Dreissena rostriformis disstinea*, не порушених процесом вторинної карбонатизації. Контакт із незмінними мулами нерівний і не завжди чіткий. Наявність фауни, що добре діагностується, дозволяє однозначно визначити віковий діапазон формування кірок в 20–25 тис. років. За радіовуглеводневими даними деревоподібної споруди, вік основи "курця" – 5100, а його верхньої частини – 3400 років (Іванов і др. 1991).

Характер розподілу карбонату кальцію по розрізу кірок та плитчастих форм вказує на зв'язок флюїдного потоку з латеральним розподілом мінералізованих вод у придонному шарі по поверхні осадового субстрату. Описана структура кірок свідчить, що мінералізація поверхневого шару мулів іде зверху донизу, що підтверджується характерною приуроченістю подібних форм тільки до поверхневих шарів осадового покриву. У той же час пряме випадіння в осад мінералізованої компоненти формує напливні утворення практично повністю складені з чистого карбонату.

Дерево-, коралоподібні і трубчасті споруди є газовидіними каналами "курців". Вони складені ніркоподібними агрегатами карбонатних пустотілих сферолітів розміром до 0,8 см. Тіло "курця" багате порами, наскрізними каналами, через які виходить газ. Колір "курців" білий, місцями з жовтуватим відтінком у результаті локального озалізнення слабкої інтенсивності. Внутрішні порожнини газовидіних каналів покриті тонкими чорними і сірими нальотами сульфідів заліза.

У місцях, де виділення характеризуються підвищеним дебітом, відбувається утворення трубчастих форм. Переривчастість процесу надходження глибинної речовини призводить до закупорки вивідних каналів і прориву газів у нових місцях, що зумовлює ріст деревоподібних форм. У місцях суцільної цементації потік флюїдів взагалі припиняється. У спокійних умовах осадоконакопичення такі "курці" перекриваються осадами, у динамічних умовах їхні уламки виносяться на поверхню у вигляді фрагментів плит і покривів.

Попаровий аналіз хімічного складу кірок (табл. 1) показав, що білі й жовтуваті кірки, шовні виділення складені більш ніж на 80 % карбонатною речовиною з незначною домішкою аутигенного кремнезему та глинистого матеріалу. Вміст мікроелементів у кіркових утвореннях, а також у тілі "курців" наведено в табл. 2.

Шар глинистих вапняків також характеризується високим вмістом карбонатів – до 70 %. Карбонатизація має цементацийний тип, виконуючи порожнечі у пористому, насиченому водою осаді. Відзначимо, що для отримання якісної характеристики вторинного карбонату кальцію

проба для аналізу була очищена від раковин молюсків, що містяться у цьому шарі. Можливо, що деяка кількість карбонатної речовини зумовлена наявністю в пробі дрібних уламків раковинного детриту. Відносно невисокий вміст алюмінію підтверджує, що глинисті мінерали, які становлять основну масу тонкодисперсних компонентів осаду, присутні у підпорядкованій кількості і крупнопелітові фракції складені головним чином тонкодисперсним карбонатом кальцію в суміші з глинистими агрегатами, мінералами оксидів заліза і кварцу. Слабкозмінені осади нижнього шару кірок містять до 60 % карбонатів і приблизно 30 % глинистої компоненти.

При порівнянні результатів аналітичних досліджень складу "курців", піднятих із глибин 160–200 м у Чорному морі (табл. 1, 2) і з глибин 170–300 м у Південно-Китайському морі (табл. 3, 4) можна побачити деякі розбіжності. У першу чергу це стосується силікатної і карбонатної складових, які мають більші значення SiO_2 на в'єтнамсь-

кому шельфі за рахунок зменшення CaO і MgO . Ці розбіжності можна пояснити різними джерелами глибинної речовини, що надходить на дно у складі флюїдів. Наведені дані дозволяють припустити, що існують варіації у складі флюїдних потоків та їхня генетична неоднорідність. Проте основним газовим компонентом залишається метанова складова (Сокур і Омельчук, 2019¹, 2019²).

Склад чорноморських "курців" відрізняється від кіркових утворень високим ступенем чистоти карбонатної складової, що представлена арагонітом з незначною домішкою доломіту. Кірки та плити характеризуються переважно анкеритовим складом. Це можна пояснити інтенсивною взаємодією рідкої фази з осадовим матеріалом донних відкладів. У разі відсутності такої взаємодії, при підвищених дебітах, зростання "курців" відбувається внаслідок біохемогенного осадження карбонатної речовини. Про це свідчить і те, що свіжі уламки "курців" покриті слизуватою оболонкою метанпереробних бактерій завтовшки до 1 см, продуктом метаболізму яких є арагоніт.

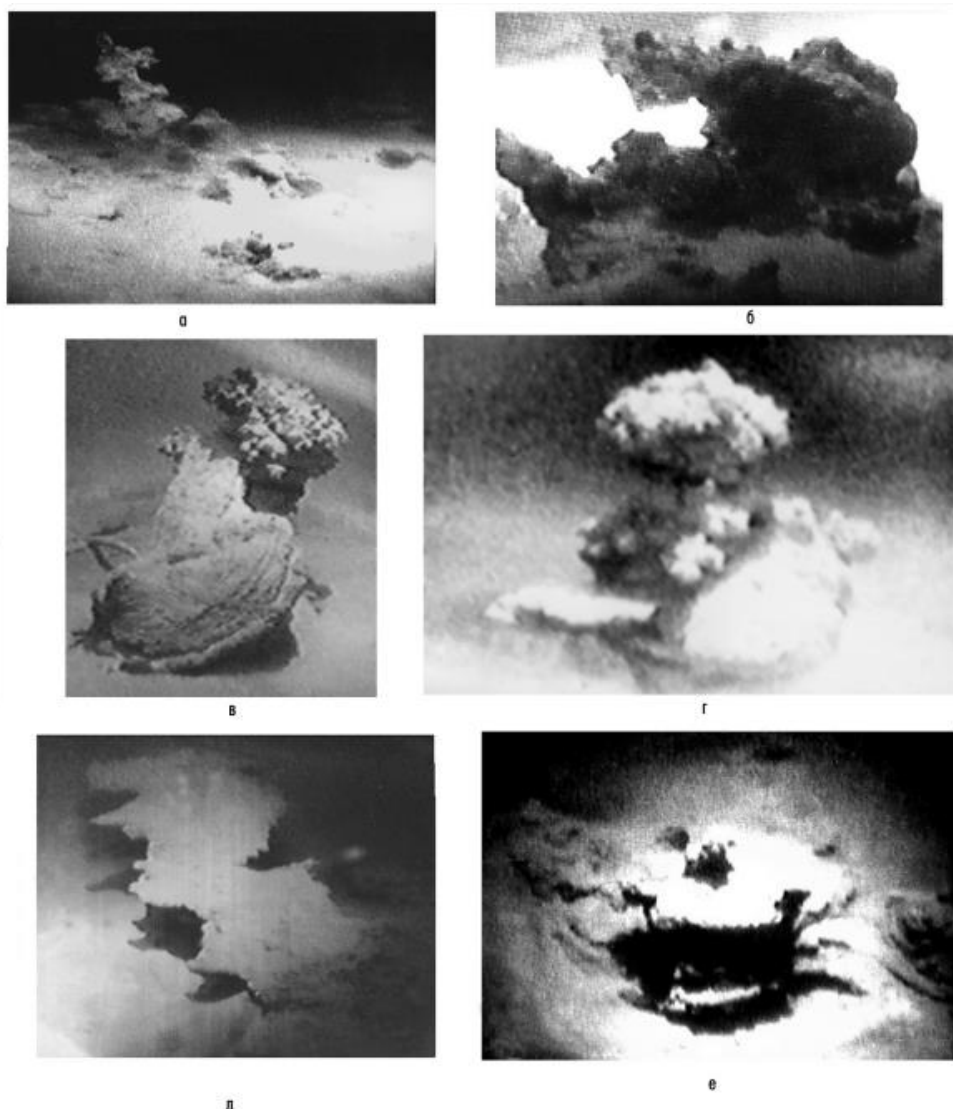


Рис. 1. Типи донних карбонатних споруд у межах газовиділень:

а – уламки карбонатних порід, на задньому плані на відстані приблизно 4,5 м – деревоподібна карбонатна споруда (білі плями на споруді і білий "пух" на поверхні мулу – скупчення бактерій або "бактеріальний мат"); б – занурена у мул масивна плита (розмір по основі – 1,2 м) з надбудовами газовивідних каналів; в – деревоподібний "курець", увінчаний коралоподібним наростом вивідного каналу, розмір в основі близько 1 м; г – діючий "курець" у вигляді грибоподібної споруди, увінчаної трьома коралоподібними вивідними каналами (основа – 1,5 м, висота – 2 м, біле на поверхні "курця" – товстий шар бактеріального слизу, праворуч – пляма бактеріальних матів і "пух" донного субстрату, піднятий від торкання дна апаратом); д – поверхнева тонка кірка (2×30×200 см), що навісає над осадами (порожнеча під кіркою зумовлена розмивом осадів придонними течіями); е – блюдцеподібне пониження з округлосплощеним "курцем" у центрі, увінчаним коралоподібним газовивідним каналом

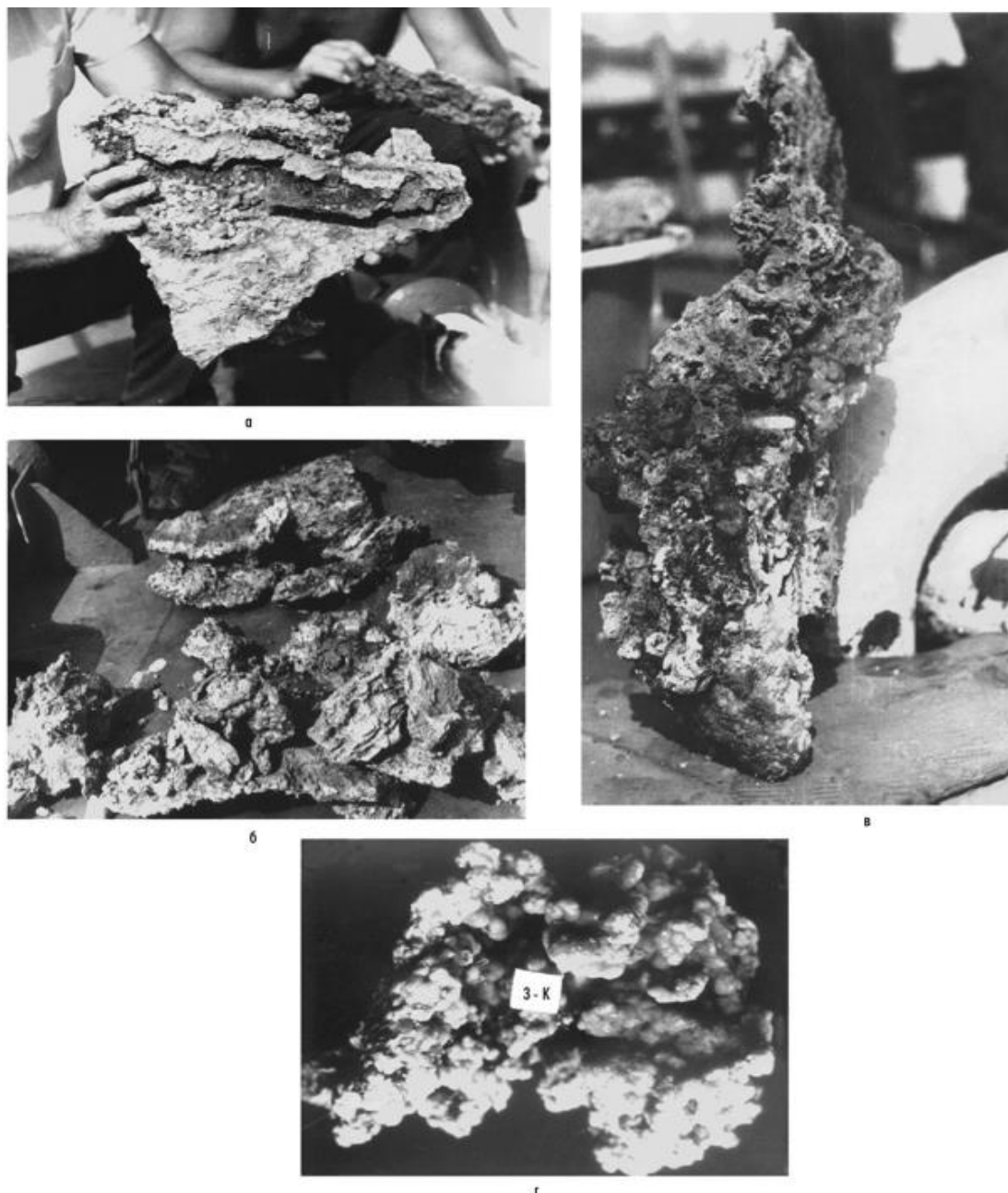


Рис. 2. Фрагменти "курців" на палубі судна:

а, б – уламки плитчастих і плоских коралоподібних форм;
в – трубчастий, деревоподібний фрагмент (висота 53 см); г – уламок коралоподібного "курця" (розмір 25×27 см)

Визначення складу бактеріальних угруповань виконано в Інституті геологічних наук та Інституті мікробіології і вірусології НАН України. Для досліджень отримані проби придонного шару води і поверхневого шару донних відкладів полів газовиділень, розташованих у діапазоні глибин 60–110 м (вище зони сірководневого зараження), які порівнювалися з даними, отриманими на фонових станціях поза межами полів газовиділень. У водній товщі кількість бактеріальних кліток варіює у досить широких межах – від $2 \cdot 10^2$ до $3,3 \cdot 10^3$ у 100 мл морської води. Фіксуються форми метанпереробних бактерій *Methylomonas methanica* (Пялько і др., 1978). На фонових станціях ці форми не виявлено. В осадах кількість бактеріальної мікрофлори зростає на порядок, проте у складі угруповань виявляються азот-, сірководень- і залізобактерії.

Глибинна дегазація може супроводжуватися і утворенням інших форм газовивідних каналів, що може бути

пов'язане з темпами дегазації і складом газів. Так, на кавказькому шельфі фіксувалися структури просідання осадів, воронки у вигляді чорних плям – "віспин" діаметром до 50 см. Центральна частина віспин є газовивідним каналом, стінки якого міцно зцементовані карбонатно-залізістим цементом. Ці форми детально були вивчені у Північному морі (Havland, 1984; Havland et al., 1987) та на шельфі В'єтнаму (Сокур і Омельчук, 2019¹, 2019²).

Необхідно відзначити, що у Чорному морі у складі газів "курців" переважає метан, сірководень займає підпорядковане значення, спорути карбонатного складу. Чорноморські джерела низькотемпературні і з низькими дебітами. Генезис "чорноморських курців" зумовлений взаємодією геологічних факторів, одним з яких є надходження продуктів розкладання газогідратного покладу по розломах у водну товщу, що може бути використано для прогнозування і пошуків нетрадиційної вуглеводневої сировини (Геворк'ян, 2005).

Таблиця 1

Результати хімічного аналізу зразків карбонатних споруд "чорноморських курців", wt%

Ком- по- нент	Зразок 1-к			Зразок 3	Валова проба	Сфе- роліти		7	8	9	10	11	12	13
	(шар2)	(шар3)	(шар5)											
	1	2	3											
SiO ₂	13,02	18,49	29,28	64,57	0,15	0,03		2,49	0,17	0,14	0,88	4,82	4,45	4,38
TiO ₂	Сл.	Сл.	Сл.	0,42	–	–		0,04	<0,02	<0,02	<0,02	0,08	0,06	0,07
Al ₂ O ₃	1,12	2,90	4,35	6,98	–	–		0,78	0,06	0,11	0,42	1,86	1,49	1,42
Fe ₂ O ₃	1,39	0,84	1,17	1,57	0,17	0,05		0,46	0,07	0,12	0,24	0,79	0,62	0,65
FeO	0,68	0,53	0,76	1,29	0,23	0,76		<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
MnO	0,18	0,02	–	0,02	–	0,34		0,06	0,11	0,15	0,11	0,10	0,07	0,11
CaO	40,83	39,00	31,69	7,78	51,56	50,31		48,06	48,38	47,66	45,93	42,18	45,56	44,49
MgO	2,74	2,43	1,90	2,29	1,59	2,39		4,10	3,69	4,20	4,20	4,92	3,90	4,92
P ₂ O ₅	0,19	0,13	0,11	0,13	0,05	0,05		0,11	0,18	0,20	0,13	0,13	0,11	0,12
K ₂ O	0,50	0,77	1,00	1,77	–	–		0,15	<0,10	<0,10	<0,10	0,37	0,29	0,25
Na ₂ O	0,76	0,70	0,83	1,46	0,65	–		0,33	0,45	0,36	0,54	0,63	0,49	0,50
H ₂ O	0,13	0,12	0,29	0,82	0,06	0,05		0,22	0,48	0,60	0,46	0,64	0,52	0,52
LOI	37,76	33,79	27,50	9,82	44,99	45,98		42,48	44,20	45,50	42,70	41,96	41,54	41,82
S _{общ}	Не визначалось				0,16	0,24		Не визначалось						
S _{сульфат}	0,11	0,22	0,15	0,11	Не визн.			0,12	0,12	0,12	0,47	0,50	0,12	0,12
S _{сульфід}	0,19	0,14	0,24	0,46	Не визн.			0,13	1,48	0,27	3,32	0,59	0,29	0,14
Сума	99,60	100,08	99,27	99,49	99,79	100,10		99,73	99,66	99,75	99,72	99,77	99,71	99,71
Sr	Не визначалось							0,11	0,29	0,16	0,25	0,12	0,09	0,13
Cl	Не визначалось							0,26	0,37	0,25	0,50	0,66	0,41	0,38
BaO	Не визначалось							0,18	1,62	0,78	3,35	0,65	<0,10	0,21

1 – карбонатна кірка на поверхні мулів; 2 – мул, зцементований до глинистого вапняку; 3 – мул, слабозцементований з цілими раковинами і детритом; 4 – фонові проби мулу сірого із зеленуватим відтінком, очищеного від раковинного детриту; 5, 6 – зразок "курця"; 7–13 – за даними (Шнюков і др., 2001) (вміст у % на висушену речовину при 105°C): 7 – зжужжена частина тіла "курця"; 9, 11 – розширення трубчастості частини "курця"; 8, 10 – зовнішній шар "курця"; 12, 13 – внутрішня частина тіла "курця". Інші примітки див. табл. 3.

Таблиця 2

Вміст мікроелементів у продуктах діяльності "чорноморських курців", ppm

Елемент	Зразок 1-к (карбонатна кірка)		Зразок 2-к (глинистий вапняк)		Зразок 4к-3 ("курець")		7	8	9	10	11	12	13
	Валова проба	Очищена від нальотів	Інтенсивне цементування	Шар слабого цементування	Валова проба	Сфе- роліти							
	1	2	3	4	5	6							
Ba	1000	1200	1500	1500	1200	2700	1660	12400	5500	20400	5800	780	1200
Be	1	1	1	1	1	1	н.в.	н.в.	н.в.	н.в.	н.в.	н.в.	н.в.
Pb	5	4	5	5	4	2	85	6	2	1	4	1	4
Sn	≤1	1	≤1	1	1	1	н.в.	н.в.	н.в.	н.в.	н.в.	н.в.	н.в.
W	3,2	3	3	2	3	1	–	–	–	–	–	–	–
Nb	100	100	100	100	100	30	–	–	–	–	–	–	–
Cr	10	35	10	13	63	55	–	–	–	–	–	–	–
Ni	15	4	12	15	5	12	–	–	–	–	–	–	–
Bi	1,21	1	1	1	1	1	–	–	–	–	–	–	–
Co	2	1	1,5	1	1	–	–	–	–	–	–	–	–
Mo	2,5	2	0,8	1	0,8	1	–	–	–	–	–	–	–
V	8	3	6,3	6	≈2	5	–	–	–	–	–	–	–
Cu	8	2	6,5	5	1	3	48	5	<3	4	5	3	11
Zn	20	20	20	23	20	32	21	13	9	8	14	15	13
Zr	80	50	63	65	40	12	н.в.	н.в.	н.в.	н.в.	н.в.	н.в.	н.в.
Ag	0,02	0,02	0,02		0,02	0,5	–	–	–	–	–	–	–
Cd	4	5	4	4	4	7	–	–	–	–	–	–	–
Y	12	10	10	10	10	10	3	<1	1	2	5	4	5
Yb	1,2	1	1	1	≤1	1	н.в.	н.в.	н.в.	н.в.	н.в.	н.в.	н.в.
La	15	10	15	15	10	15	–	–	–	–	–	–	–
Ce	32	30	30	25	30	30	21	26	<15	<15	<15	17	<15
Sr	400	700	320	300	5000	7000	900	1810	1350	2178	910	754	1025
In	1	1	1	1	1	1	н.в.	н.в.	н.в.	н.в.	н.в.	н.в.	н.в.
Ge	≤1,2	1	1	1	1	1	–	–	–	–	–	–	–
Hf	3	3	3	1	3	1	–	–	–	–	–	–	–
Sc	6,3	6	6,3	5	6,3	5	–	–	–	–	–	–	–
Au	1,0	1,0	1,0	0,8	1,0	1,2	–	–	–	–	–	–	–
U	5,0	5,5	5,0	3,2	5,0	5,0	–	–	–	–	–	–	–
Th	32	35	32	32	32	50	–	–	–	–	–	–	–
Ti	2	2	2	2	2	2	–	–	–	–	–	–	–
Li	10	10	10	10	10	7	–	–	–	–	–	–	–
As	65	65	65	100	65	70	–	–	–	–	–	–	–
Sb	32	30	32	35	32	25	–	–	–	–	–	–	–

Закінчення табл. 2

Ta	32	30	32	30	32	25	—	—	—	—	—	—	—
Br	н.в.	н.в.	н.в.	н.в.	н.в.	н.в.	3	<1	1	9	13	12	8
Rb	—	—	—	—	—	—	н.в.	2	<2	52	14	9	12
Mn	—	—	—	—	—	—	—	964	1260	875	445	342	722
Fe	—	—	—	—	—	—	—	340	410	1440	6260	4750	4470

1–6 – результати уточненого кількісно-напівкількісного емісійного спектрального аналізу; 7–13 – результати рентгенофлуоресцентного аналізу (XRF) проб тіла метанового "курця" (Шнюков и др., 2001); н.в. – елемент не визначався.

Таблиця 3

Результати хімічного аналізу зразків карбонатних споруд західної частини Південно-Китайського моря, wt%

Компонент	№ зразка					
	198/ТС 27, зразок 1	198/ТС 27, зразок 2	198/ТС 27, зразок 3	ПА-18, зразок 1	13/ДТ 6, зразок 1	13/ДТ 6, зразок 2
	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	35,03	33,34	29,72	21,10	30,15	18,01
TiO ₂	0,35	0,33	0,30	0,27	0,36	0,23
Al ₂ O ₃	8,07	7,60	6,50	5,78	7,90	4,54
Fe ^{total} ₂ O ₃	1,95	1,87	1,70	4,70	2,67	1,54
MnO	0,05	0,04	0,04	0,49	0,49	0,26
MgO	10,92	11,16	12,25	7,45	5,46	3,45
CaO	16,89	17,58	19,49	24,64	23,70	35,09
Na ₂ O	1,18	1,10	1,04	1,14	1,19	1,16
K ₂ O	1,23	1,17	1,03	0,96	1,25	0,68
P ₂ O ₅	0,14	0,15	0,15	0,39	0,11	0,07
S	0,05	0,03	0,04	0,01	0,02	0,01
Cl	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,03
H ₂ O-	0,71	0,45	0,44	1,06	1,00	0,78
LOI	23,00	24,74	26,89	31,57	25,25	33,76
Сума	99,59	99,58	99,61	99,59	99,59	99,61

Fe^{total}₂O₃ – загальне Fe в перерахунку на Fe₂O₃; H₂O – вологість проби (втрата маси при просушуванні при 110 °C); LOI – втрата маси при прокалюванні (1100 °C) сухої проби. Аналіз (XRF) виконаний у лабораторії рентгенівських та мікроскопічних досліджень мінеральної речовини кафедри мінералогії, геохімії та петрографії ННІ "Інститут геології" Київського національного університету імені Тараса Шевченка, аналітик В.В. Загородній.

Таблиця 4

Вміст мікроелементів у "курцях" західної частини Південно-Китайського моря, ppm

Елемент	№ зразків						
	198/ТС 27, зразок 1	198/ТС 27, зразок 2	198/ТС 27, зразок 3	ПА-18, зразок 1	13/ДТ 6, зразок 1	13/ДТ 6, зразок 2	Межа визначення
	1	2	3	4	5	6	7
Fe	12386	12888	11284	34667	18894	10843	200
Ni	11	7	2	11	36	37	15
Cu	2	1	2	0	4	3	15
Zn	42	38	32	53	56	44	15
Ga	4	5	4	5	4	1	10
As	0	0	0	36	14	12	5
Br	8	10	11	10	21	24	5
Rb	42	44	38	33	47	26	5
Sr	535	531	594	493	1684	5004	5
Y	10	10	9	12	8	0	5
Zr	147	130	118	71	122	35	5
Nb	4	3	3	3	2	5	5
Pb	10	10	10	9	9	3	5
I	18	20	16	24	45	45	15
Ba	197	184	166	145	178	103	15
La	18	13	15	12	10	7	15
Ce	26	26	27	20	33	17	15
Pr	3	2	1	1	0	0	15
Nd	8	8	8	6	7	5	15

0 – вміст елемента нижчий за межу виявлення аналізу. Аналізи (XRF) виконано у лабораторії рентгенівських та мікроскопічних досліджень мінеральної речовини кафедри мінералогії, геохімії та петрографії ННІ "Інститут геології" Київського національного університету імені Тараса Шевченка, аналітик О.В. Андреев.

Особливо слід зауважити передумови для формування пов'язаних із "курцями" родовищ вуглеводнів у Чорному морі, де ймовірно існування аналогів таких великих і навіть гігантських нафтових (газоконденсатних, газових) родовищ, які було відкрито на Південно-В'єтнамському шельфі (Білий Тигр, Дракон та ін.).

У Південно-Китайському морі карбонатні споруди пов'язані з процесами окиснення метану метанотрофними бактеріями у виходів висхідних вуглеводнево-газових джерел (сипи, міграція вуглеводневих газів по розламах). Ізотопно-геохімічні дані підтверджують розмаїття їхньої природи й

утворення, яке пов'язане з метаболізмом мікроорганізмів, приурочених до труб дегазації. На рис. 3 показано фрагменти "курців", зразки яких були відібрані на західному шельфі Південно-Китайського моря.

Крім сприятливих передумов рифоутворення (роль виступів і підняття кристалічних порід – як основи для різноманітних карбонатних споруд), а також фізико-хімічних особливостей гранітного субстрату, що сприяють бактеріальному кірковому і матоутворенню, неабияку роль може відігравати карбонатотвірна діяльність специфічних

екосистем, які ініціюють мікробіологічні процеси. Формування вуглеводневих покладів, у підсумку, зумовлене процесами глибинної дегазації Землі (Лукин, 2007).

Висновки. Слід зазначити, що як Чорне, так і Південно-Китайське море характеризуються загальними рисами, пов'язаними з глибинною вуглеводневою дегацією, що зумовлює значну перспективність пошуків вуглеводневої сировини. Великі площі, зайняті такими дегазаційними карбонатними спорудами, і приуроченість до труб дегазації гетерогенних карбонатних масивних резервуарів свідчать про тектоно-геодинамічну схожість цих двох регіонів. А оскільки на в'єтнамському

шельфі вже відкриті і розробляються великі родовища нафти і газу, перспективи відкриття промислових родовищ вуглеводневої сировини у Чорному морі досить значні, тому пошуки, розвідка і розробка можуть бути рентабельними в умовах чорноморського шельфу.

Подальші дослідження "курців" Чорного моря дадуть безсумнівні перспективи у забезпеченні енергетичної незалежності України, оскільки карбонатні споруди безпосередньо пов'язані з газогідратними покладами та скупченням підгідратного газу, що дає можливість у майбутньому використовувати екологічно чисту вуглеводневу сировину.



Рис. 3. "Курці" західної частини Південно-Китайського моря

Список використаних джерел

- Бондарев, И.П. (1990). Биоэрозия или газоиндукция. *Геол. журнал*, 4 (253), 55–62.
- Геворкьян, В.Х., Бураков, В.И., Исагулова, Ю.К. и др. (1991). Газо-выделяющие постройки на дне северо-западной части Черного моря. *Докл. АН УССР*, 4, 80–85.
- Геворкьян, В.Х., Чугунный, Ю.Г., Сорокин, А.Л. и др. (1990). Геологические аспекты биологической продуктивности океана. Мурманск: Мурман. книж. изд-во.
- Геворкьян, В.Х., Сокур, О.Н. (2005). Генетические особенности черноморских "курильщиков". *Геол. журнал*, 2 (312), 68–82.
- Иванов, М.В., Поликарпов, Г.Г., Леин, А.Ю. и др. (1991). Биогеохимия цикла углерода в районе метановых газовыделений Черного моря. *Докл. АН СССР*, 320, 5, 1235–1240.
- Лукин, А.Е. (2007). Биогенно-карбонатные постройки на выступках разуплотненных кристаллических пород – перспективный тип комбинированных ловушек нефти и газа. *Теория и практика*, 2, 1–21. Отримано з <http://www.ngtrp.ru/>.
- Лялько, В.И., Малашенко, Ю.Р., Митник, М.М. (1978). Геологическая деятельность углеводородных организмов. *Докл. АН УССР*, 4, 305–309.

- Поликарпов, Г.Г., Егоров, В.Н., Нежданов, А.И. и др. (1989). Явления активного газовыделения из поднятий на свале глубин западной части Черного моря. *Докл. АН УССР*, Сер. Б, 12, 13–15.
- Сокур, О.Н., Омельчук, А.В. (2019¹). Карбонатные постройки шельфовых зон как критерий прогнозирования залежей и поисков углеводородного сырья. *Геолого-мінералогічний вісник Криворізького національного університету*, 21, 1 (41), 54–68.
- Сокур, О.Н., Омельчук, А.В. (2019²). Донные карбонатные постройки – объекты для поисков углеводородного сырья. *Геол. журнал*, 2 (367), 38–48.
- Шнюков, Е.Ф., Григорьев, А.В., Безбородов, А.А. и др. (1990). Экспедиционные исследования в Черном море (51-й рейс НИС "Михаил Ломоносов", 11.11–14.12 1989 г.). *Геол. журнал*, 4 (253), 130–133.
- Шнюков, Е.Ф., Старостенко, В.И., Гожик, П.Ф. и др. (2001). О газоотдаче дна Черного моря. *Геол. журнал*, 4 (298), 7–14.
- Havland, H. (1984). Gas-induced erosion features in the North sea. *Earth surface processes and landforms*, 9, 3, 209–228.
- Havland, H., Talbot, M.R., Quale, H. et al. (1987). Methane-related Carbonate Cements in Pockmarks of the North Sea. *J. Sediment. Petrol.*, 57, 881–891.

References

- Bondarev, I.P. (1990). Bioerosion or gas induction. *Geologichnyy zhurnal*, 3 (253), 55-62. [in Russian]
- Gevorkian, V.H., Burakov, V.I., Isagulova, Yu.K., Semenov, D.V., Malaxov, V.P., Oleinik, F.I., Gryazanov, A.S., Shevchenko, A.F. (1991). Gas take out of construction at the bottom of northwest part of the Black sea. *Doklady AN USSR*, 4, 80-85. [in Russian]
- Gevorkian, V.H., Chugunnyy, Yu.G., Sorokin, A.L., Luka, G.I., Pavlov, A.I. (1990). Geological aspects of biological productive of ocean. Murmansk. [in Russian]
- Gevorkian, V.H., Sokur, O.N. (2005). Genetic peculiarities of the Black Sea "smokers". *Geologichnyy zhurnal*, 2 (312), 68-82. [in Russian]
- Havland, H. (1984). Gas-induced erosion features in the North sea. *Earth surface processes and landforms*, 9, 3, 209-228.
- Havland, H., Talbot, M.R., Quale, H., Olausson, S., Aasberg, L. (1987). Methane-related Carbonate Cements in Pockmarks of the North Sea. *J. Sediment. Petrol.*, 57, 881-891.
- Ivanov, M.V., Polikarpov, G.G., Lein, A.Yu., Galchenko, V.F., Egorov, V.N., Guln, S.B., Guln, M.B., Rusanov, I.I., Miller, Yu.M., Kuptsov, V.I. (1991). Biogeochemistry of a cycle of carbon in area methane gas take out of the Black Sea. *Doklady AN SSSR*, 320, 5, 1235-1240. [in Russian]
- Lukin, A.E. (2007). Biogenetic carbonate of structures on ledges decompaction of crystalline rock - perspective type of the combined snare of

oil and gas. *Oil and gas geology. Theory and practice*, 2, 1-21. Retrieved from <http://www.ngtp.ru>. [in Russian]

- Lyalko, V.I., Malashenko, Yu.R., Mitnick, M.M. (1978). Geological activity carbonoxidize organism. *Doklady AN USSR*, 4, 305-309. [in Russian]
- Polikarpov, G.G., Egorov, V.N., Nezhdanov, A.I., Guln, S.B., Kilev, Yu.D., Guln, M.B. (1989). The phenomenon active gas take out from climb on down of depths of western part of the Black Sea. *Doklady AN USSR*, Series B, 12, 13-15. [in Russian]
- Shnyukov, E.F., Grigoryev, A.V., Bezborodov, A.A., Mavrenko, N.I. (1990). Expeditionary researches in the Black Sea (51 trip "M. Lomonosov", 11.11-14.12. 1989 year). *Geologichnyy zhurnal*, 4 (253), 130-133. [in Russian]
- Shnyukov, E.F., Starostenko, V.I., Gozhik, P.F., Kleschenko, S.A., Kutnyi, V.A., Shnyukova, E.E. (2001). Gas take out bottom of the Black Sea. *Geologichnyy zhurnal*, 4 (298), 7-14. [in Russian]
- Sokur, O.N., Omelchuk, A.V. (2019). Carbonate structures of shelf zones as a criterion of forecasting depositions and searches for hydrocarbon raw material. *Geology and mineralogy bulletin of Kryvyi Rih National University*, 21, 1 (41), 54-68. [in Russian]
- Sokur, O.N., Omelchuk, A.V. (2019). Bottom carbonate structures of objects for searches of hydrocarbon raw material. *Geologichnyy zhurnal*, 2 (367), 68-82. [in Russian]

Надійшла до редколегії 11.11.19

O. Omelchuk, PhD (Geol.-Min.)

E-mail: msstesha@ukr.net,

Taras Shevchenko National University of Kyiv,

Institute of Geology, 90 Vasylkivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine;

O. Sokur, PhD (Geol.)

E-mail: bytit@ukr.net,

Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine,

55-B Gonchar Str., Kyiv, 01054, Ukraine

PROCESSES OF DEEP OUTGASSING OF THE EARTH AS THE CAUSE OF BOTTOM CARBONATE BUILDUP FORMATION IN THE OCEAN SHELF ZONES

Bottom carbonate buildups of northwest of the Black Sea and western shelf of the South China Sea are considered in the article. The actual material for these researches was received when carrying out submarine works with application of underwater laboratory "Bentos-300" in the Black Sea and submersible vehicle "Sever-2" in the South China Sea.

As a result of researches gas emissions from bottom depositions and carbonate buildups were discovered at depths of 160-300 m. Investigation of landscape and geological setting on seabed was carried out by direct observation of gas emission fields. It was established within their limits that gas component is only one portion of fluid flow which formation is caused by deep outgassing processes of the Earth. The main portion is represented by fluid mineralized phase saturated with soluble compounds. In the marine water which is characterized by different hydrochemical parameters superimposed biogenic sedimentation, predominantly calcium carbonate occurs from fluid flow.

Relation between buildup types, sea depth and bottom relief is defined. The most carbonate buildups are confined to vertex sites of ridges. On slopes the buildups are rare and their number decreases. Cover formations of solid very strong rocks in the form of massive blocks that is 40-60 cm thick prevail at depths of 160-190 m. Distribution pattern of calcium carbonate over the section of crusts and tabular shapes points to the relation between a source of carbonates with lateral distribution of mineralized waters in near-bottom layer on the surface of sedimentary substrate.

Comparative data on composition of carbonate buildups of Black and Southern Chinese Seas testify for their common features of deep hydrocarbon outgassing and tectono-geodynamic similarity between areas of their distribution. Considering the fact that within the shelf area of Vietnam, giant oil and gas fields have already been discovered and are under exploration, prospects for discovery of similar deposits in northwest part of the Black Sea are rather reasonable. Results of studying of carbonate formations in the Black Sea can be used for forecasting and prospectings of hydrocarbon raw material.

Keywords: deep outgassing of the Earth, carbonate buildups, hydrocarbon raw material, shelf zones of the ocean.

A. Omelchuk, канд. геол.-минералог. наук

E-mail: msstesha@ukr.net,

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,

УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина;

О. Сокур, канд. геол. наук

E-mail: bytit@ukr.net,

Институт геологических наук НАН Украины,

ул. О. Гончара, 55-б, г. Киев, 01054, Украина

ПРОЦЕССЫ ГЛУБИННОЙ ДЕГАЗАЦИИ ЗЕМЛИ КАК ПРИЧИНА ОБРАЗОВАНИЯ ДОННЫХ КАРБОНАТНЫХ ПОСТРОЕК В ШЕЛЬФОВЫХ ЗОНАХ ОКЕАНА

Рассматриваются донные карбонатные образования северо-западной части Черного моря и западного шельфа Южно-Китайского моря. Фактический материал для данных исследований был получен при проведении подводных работ в Черном море с помощью подводной лаборатории "Бентос-300" и в Южно-Китайском море с применением подводного аппарата "Север-2".

В результате проведенных исследований были обнаружены выделения газов из донных отложений, а также из карбонатных построек на глубинах 160–300 м. Ландшафтно-геологическая обстановка на морском дне изучалась с помощью прямых наблюдений полей газовыделений. В их границах было установлено, что газовая компонента является только частью флюидного потока, формирование которого обусловлено глубинными процессами дегазации Земли. Основная составляющая его приходится на жидкую минерализованную фазу, насыщенную растворимыми соединениями. В морской воде, характеризующейся иными гидрохимическими параметрами, происходит процесс наложенного биохимического осаждения из флюидного потока, преимущественно карбоната кальция.

Определена связь типов построек с глубиной моря и рельефом дна. Наибольшее количество карбонатных образований приурочено к вершинным участкам гряд, на склонах постройки разрежены и количество их уменьшается. На глубинах 160–190 м преобладают покровные образования монолитных, очень прочных пород в виде массивных блоков толщиной 40–60 см. Характер распределения карбоната кальция по разрезу корок и плитчатых форм указывает на связь источника карбонатов с латеральным распределением минерализованных вод в придонном слое по поверхности осадочного субстрата.

Сравнительные данные о вещественном составе карбонатных построек Черного и Южно-Китайского морей свидетельствуют о том, что они характеризуются общими чертами глубинной углеводородной дегазации, а также тектоно-геодинамическим сходством районов их распространения. Учитывая то, что в пределах вьетнамского шельфа уже открыты и разрабатываются крупные месторождения нефти и газа, перспективы открытия аналогичных месторождений в северо-западной части Черного моря являются достаточно обоснованными. Результаты изучения карбонатных образований в Черном море можно использовать для прогнозирования и поисков углеводородного сырья.

Ключевые слова: глубинная дегазация Земли, карбонатные постройки, углеводородное сырье, шельфовые зоны океана.