

<https://doi.org/10.15407/gpimo2021.01.003>

Є.Ф. Шнюков, академік НАН України, доктор геол.-мін. наук, професор,
радник при дирекції ДНУ «МорГеоЕкоЦентр НАН України»,
м. Київ, вул. Олеся Гончара, 55-б
ORCID 0000-0003-1173-2576

Ю.І. Іноземцев, доктор геол. наук, старший наук. співр., провідний наук. співр.,
ДНУ «МорГеоЕкоЦентр НАН України»,
м. Київ, вул. Олеся Гончара, 55-б
ORCID 0000-0002-4083-8292

О.М. Рибак, канд. геол.-мін. наук, старший наук. співр.,
ДНУ «МорГеоЕкоЦентр НАН України»,
м. Київ, вул. Олеся Гончара, 55-б
ORCID 0000-0001-5746-7259

О.О. Паришев, канд. геол. наук, старший наук. співр.,
ДНУ «МорГеоЕкоЦентр НАН України»,
м. Київ, вул. Олеся Гончара, 55-б
ORCID 0000-0003-1318-9650

Л.В. Ступіна, канд. геол. наук, старший наук. співр.,
ДНУ «МорГеоЕкоЦентр НАН України»,
м. Київ, вул. Олеся Гончара, 55-б
ORCID 0000-0002-5082-0862

ГАЗОВІ ФАКЕЛИ ПІВНІЧНОГО ЗАХОДУ ЧОРНОГО МОРЯ В РАЙОНІ ПАЛЕОРІЧКИ КАЛАНЧАК

В основу публікації покладений великий масив даних по газовим виходам північного заходу Чорного моря, і зокрема, палеокаланчацькому району. Матеріал було отримано під час рейсів, проведених на науково-дослідних судах ВМГОР НАН України, а також використані дані з літературних джерел.

В районі досліджень виявлено більш ніж 3000 метанових факелів. Переважна більшість газовиділень в районі палеорічки Каланчак, також як і в інших акваторіях північно-західного сектора Чорного моря, приурочено до верхньої частини континентального схилу і прилеглої області шельфу. Практично це смуга шириною 45 км по обидва боки від бровки шельфу.

В статті розглядаються сейсмічні і акустичні профілі. Їх аналіз вказує на те, що газові факели не розподіляються випадковим чином, а зосереджені в конкретних локаціях. Простежується певний зв'язок між просторовим розподілом виходів метану на морському дні і геоморфологічними структурами, а також тектонічною будовою, в першу чергу розломами.

Газові факели приурочені до різних форм рельєфу морського дна, але найбільша їх кількість розташована в гирлах каньйонів палеорічок. В статті приводиться більш деталізована геоморфологічна інформація палеорічкової мережі північного заходу Чорного моря, зокрема палео-Каланчака. В гирловому каньйоні виділення газів утворюються вздовж гребнів осадових хребтів, факели з'являються на дні каньйонів, їх периферії, або поблизу відвалів підводних зсувів, де масо-

Цитування: Шнюков Є.Ф., Іноземцев Ю.І., Рибак О.М., Паришев О.О., Ступіна Л.В. Газові факели північного заходу Чорного моря в районі палеорічки Каланчак. *Геологія і корисні копалини Світового океану*. 2021. 17, № 1: 3—25. <https://doi.org/10.15407/gpimo2021.01.003>

переносом порушений осадовий покрив. На шельфі найбільша концентрація факелів виявлена в круглих і подовжених западинах (покмарках). Грунтуючись на вивченні акустичних профілів, газові факели палеокаланчакської частини Чорного моря були класифіковані за рядом ознак: глибини розташування, висоті газового викиду, потужності газового потоку, формі газовиділення, режиму роботи. Результати досліджень представлені також в графічних матеріалах (гістограмах розподілу газових факелів по глибині і висоті газовиділень, карті розташування сипів по району річки палео-Каланчак).

Ключові слова: північний захід Чорного моря, палео-Каланчак, газові факели.

Вступ

Розвиток досліджень в області морської геології привів до масового виявлення прямих і непрямих слідів дегазації на великих просторах морського дна. Найбільш яскравим свідомством дегазації морського дна, що широко розвинута у Світовому океані, являються газові факели (сипи), представники так званої холодної немагматичної гілки дегазації. До них у Світовому океані відносять також грязьові підводні вулкани, що вивергають значну кількість газів. Активна глибинна дегація виявляється також перед і під час землетрусів [6]. Високі газові концентрації зафіксовані у багатьох розломах земної кори. Але найбільш потужні шляхи холодної дегазації приурочені до сучасної планетарної рифтової системи [9].

Матеріал по холодній дегазації Світового океану накопичений величезний. В статті розглядається тільки газові факели (сипи) - природні виходи газів, в даному випадку на морському дні. Більшість газових сипів розвинуті в межах геологічно активних, рідше пасивних континентальних окраїн, внутрішньоконтинентальних морських басейнів і озер.

В Світовому океані вони виявлені в Атлантичному, Тихому, Індійському океанах, водах арктичних морів. Рідкість знахідок біля Антарктиди пов'язана, ймовірно, з недостатньою вивченістю Південного океану. Найчастіше сипи як би обрамляють Північноамериканський і Євразійський континенти. Навколо Африки, Південної Америки, Австралії, Антарктиди сипи розвинені в меншій мірі. Знову ж таки — не виключена просто слабка вивченість цих регіонів. Сипи розвинені і в деяких великих озерах, наприклад, на Байкалі.

Вплив сипів на геосферу, біосферу, гідросферу і атмосферу викликало значний науковий інтерес по всьому світі. Сипи мають також важливе економічне значення, оскільки вони потенційно можуть бути показниками скупчень вуглеводнів.

Немає єдиної думки про природу газів сипів. Біологи висувають ідеї про біогенне походження газів в четвертинній осадовій товщі. З цим можна погодитися лише частково. Швидше за все, разом з принципово можливим утворенням метану в донних осадах основна маса газів генерується в глибоких шарах і має неорганічне походження. На користь цього свідчить локалізація факелів по лініях тектонічних порушень, наявність факелів на кристалічних породах морського дна. За своїм складом газові факели — переважно метанові, є присутнім CO_2 , іноді сірководень.

Газові факели мають різні розміри і дебіт. Їх висота найчастіше не перевищує 100—200 м, але нерідко виходить за ці рамки. Скажімо, в мілководному Азовському морі спостерігалися факели до 5—10 м заввишки. У глибоководних морях сипи досягають і 600—700 м.

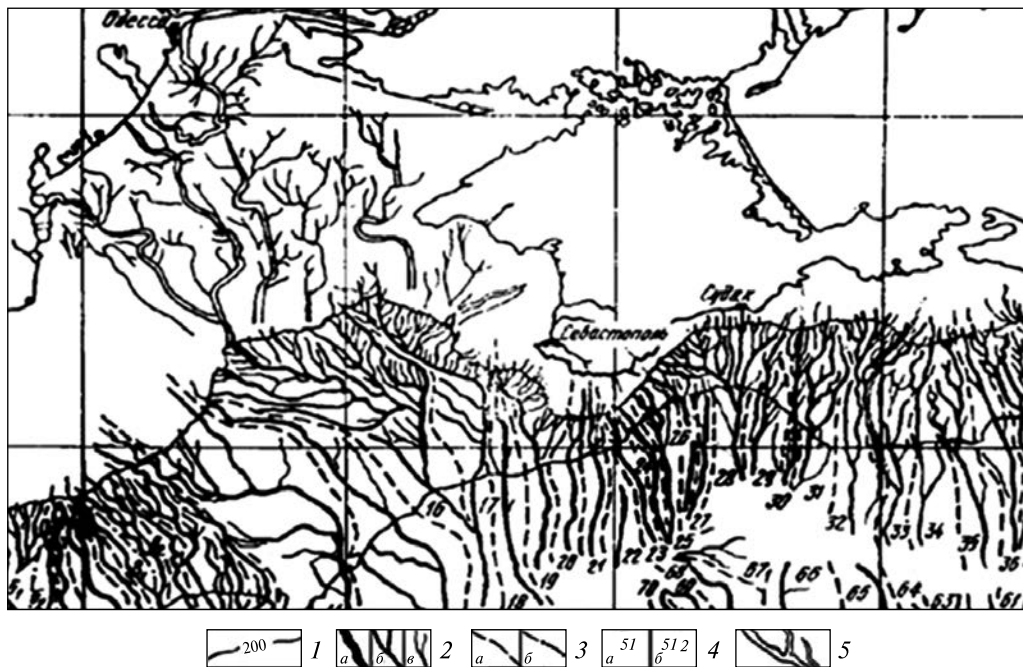


Рис. 1. Карта палеодолінних каньйонних систем і окремих відособлених долин Чорного моря м-ба 1 : 1 250 000 (за [5]): 1 — ізобати; 2 — руслова частина: а — головні долини; б — основні; в — другорядні долини; 3 — «вододіли»: а — міжсистемні, б — підсистемні; 4 — номери ПДКС і ООД; 5 — поховані

Характер роботи факелів різний. Зазвичай вони функціонують безперервно, але спостерігаються і пульсуючі факели, що переривчасто викидають газ. Дискутується питання про стабільність газових проявів. Допускається ефемерність і випадковість викидів газів, але наші спостереження на Чорному морі показали, що впродовж 20 років газові факели зберігали свої основні характеристики.

В статті на прикладі одного з районів північного заходу Чорного моря, а саме району річки палео-Каланчак, показані певні закономірності розподілу газових факелів. Розподіл факелів на морському дні відбиває регіональні особливості, простежується певна кореляція між виходами метану і геоморфологічними структурами, а також тектонічною будовою.

Газові факели Чорного моря — величезний енергетичний ресурс. Тому накопичений матеріал по газовому розвантаженню Чорного моря це безперечно внесок в проекти освоєння газових сипів Азово-Чорноморського басейну в майбутньому.

Геоморфологія північного заходу Чорного моря

Північно-західна частина Чорного моря характеризується широким поширенням метанових факелів. В Чорному морі ця акваторія являється, мабуть, найбільш багатою сипами. За даними В.М. Єгорова, Г.Г. Полікарпова, С.Б. Гуліна та ін. [3], потік метану дна північно-західної частини Чорного моря оцінюється в $5,2 \times 10^8 \text{ м}^3$ в рік⁻¹. Практично всі газові виходи розташовані в смузі шириною 45 км з двох сторін від бровки шельфу. В геоморфологічному відно-

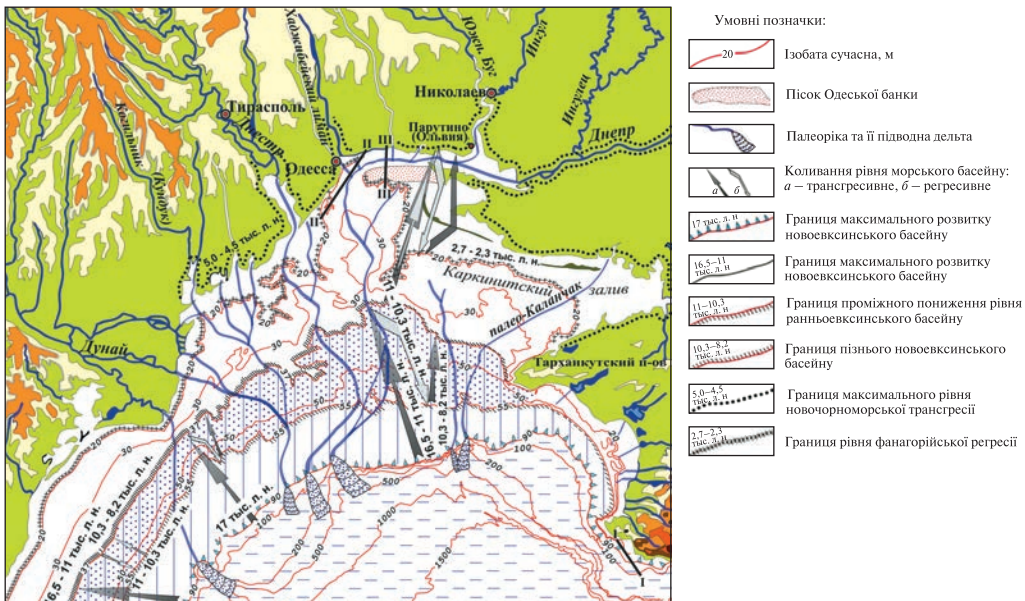


Рис. 2. Схематична карта розташування регресивно-трансгресивних морських басейнів і похованих палеорічок в північно-західній частині Чорного моря в пізньому плейстоцені-голоцені (від 17 тисяч років назад по теперішній час). За [4]

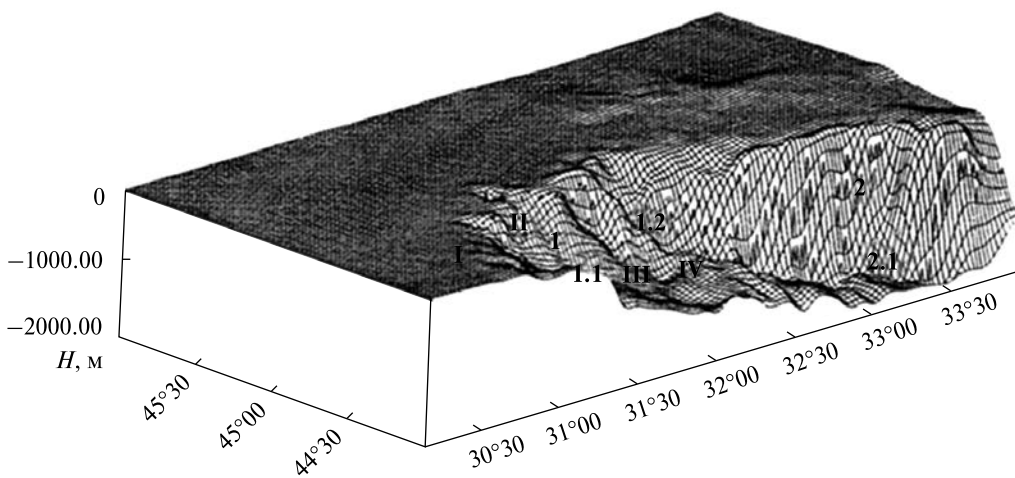
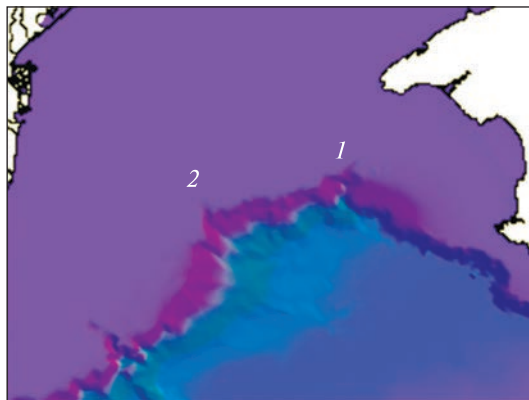


Рис. 3. Блок-діаграма рельєфу морського дна Західно-Чорноморської області похованих палеодельт (за Д.О.Туголесовим та ін., 1990): 1 — Західно-Чорноморська область похованих палеодельт, 1.1 — район палео-Дніпровського каньйону (I — Дунай, II — Дністер, III — Дніпро), 1.2 — район палео-Каланчакського каньйону (IV), за [14]

шенні вони приурочені переважно до гирлових частин каньйонів палеорічок Дунаю, Дністра, Дніпра і Каланчака, які, в свою чергу, наслідують простягання різного роду розломів.

Наявність палеорічок на шельфі Чорного моря в ранньочетвертинний (чаудинський) час передбачав ще М.І. Андрусов [1], який проводив лінію морського басейну по 200 метрової ізобаті.

Рис. 4. Палео-Каланчацький (1) і палео-Дніпровський (2) каньйони Чорного моря, [14]



Перша «Карта палеодолинних каньйонних систем і окремих відособлених долин Чорного моря м-ба 1:1250000» була складена за результатами морфометричної обробки батиметричних карт в ІГН АН УРСР в 1986 р. (рис. 1) [5].

З появою сучасної сейсмоакустичної і гідроакустичної апаратури якість реконструкцій рельєфу морського дна значно зросла. Фактичний матеріал був отриманий в рейсах НДС: «Академік Вернадський», «Михайло Ломоносов», «Київ», «Професор Водяницький», «Володимир Паршин» (1993—1997 рр.) і при проведенні науково-тематичних рейсів на НДС «Рутіл», «Вега», «Трепанг», «Діорит», «В. Зарудний». Матеріали цих досліджень дозволили отримати уточнену геоморфологічну інформацію і значно деталізувати палеорічкову і долинно-каньйонну мережу північно-західної частини Чорного моря.

Для встановлення серії ерозійних врізів, на шельфі і континентальному схилі північного заходу Чорного моря, що є похороненими долинами, разом з матеріалами сейсмо- і гідроакустичних досліджень використовувалися також результати геолого-знімальних робіт. Визначення положення палеодолин північно-західного шельфу Чорного моря проводилося на підставі даних буріння пошукових і картувальних свердловин і ударних трубок. В результаті була складена сучасна «Карта палеорічкових долин і каньйонів континентального схилу північного заходу Чорного моря новоевксинського голоценового часу» (рис. 2).

Проведені дослідження показали, що на сході північно-західної частини Чорного моря пізньочетвертинна мережа похованих палеодолин менш розвинена, чим в західній частині, що пов'язано з відсутністю значних річкових артерій в цьому регіоні на суші. В наші дні передбачається тільки невеликий потік на продовженні балки Каланчак (що впадає в Каркініцьку затоку).

В морфоструктурному відношенні район є підводним продовженням затопленої в результаті трансгресії великої алювіальної рівнини, що територіально охоплює прилеглий шельф і континентальний схил. Ця поверхня утворена в результаті абразійно-аккумулятивного плейстоцен-голоценового вирівнювання. Регресивно-трансгресивні коливання рівня моря викликали накопичення величезних мас теригенних відкладів, які по долинах палеорічок в період регресії поступали до бровки шельфу і перемішувалися до підніжжя схилу, утворюючи великі конуси виносу. Загальна тенденція поверхні до занурення відбилася в утворенні морфоструктур похованих палеодельт, що складають великі по площі і значні за потужністю алювіальні і алювіально-пролювіальні накопичення біля підніжжя континентального схилу, ширина якого разом з ділянками підводного його продовження у бік глибоководного ложа складає 7—10 км, а загальні середні ухили 2—3 (рис. 3).

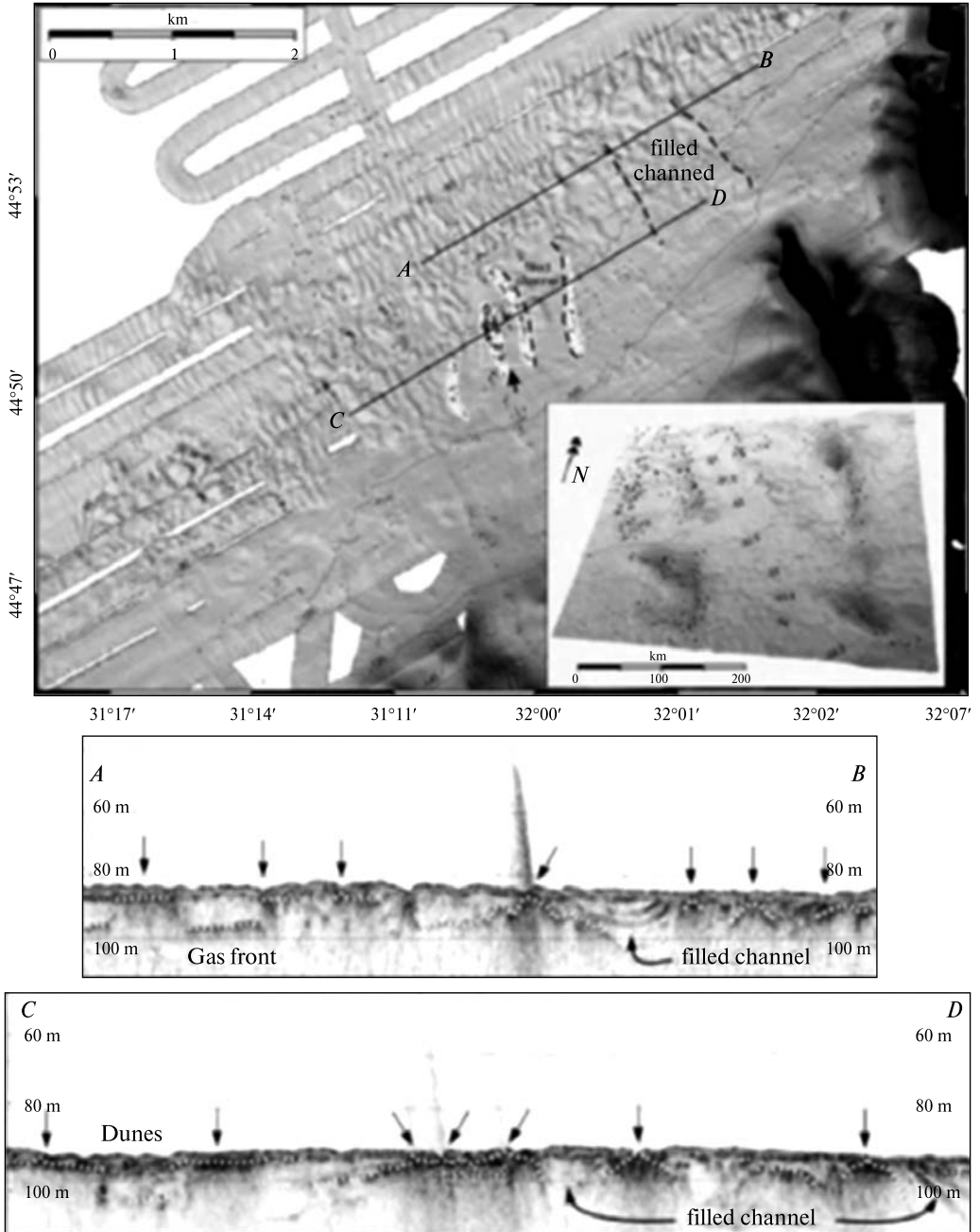


Рис. 5. Батиметрична карта шельфу і поля піщаних гряд. Чотири витягнуті западини виділено прозорим білим фоном. На вставці показана ділянка інтенсивного газовиділення з глибини 92 м, ідентифікована як покмарки. Чорні точки — місця виходу газу. Розрізи А—В і С—D показують площу суцільного газовиділення, чітко видно фронт висхідного потоку газів (пунктирна біла лінія) під місцями просочування (стрілки). Сиби розташовані по краях заповнених каналів, а не над ними. За [17]

Слабонахилені акумулятивні, акумулятивно-ерозійні і структурно-акумулятивні поверхні шельфу і всю поверхню схилу від верхньої бровки до його

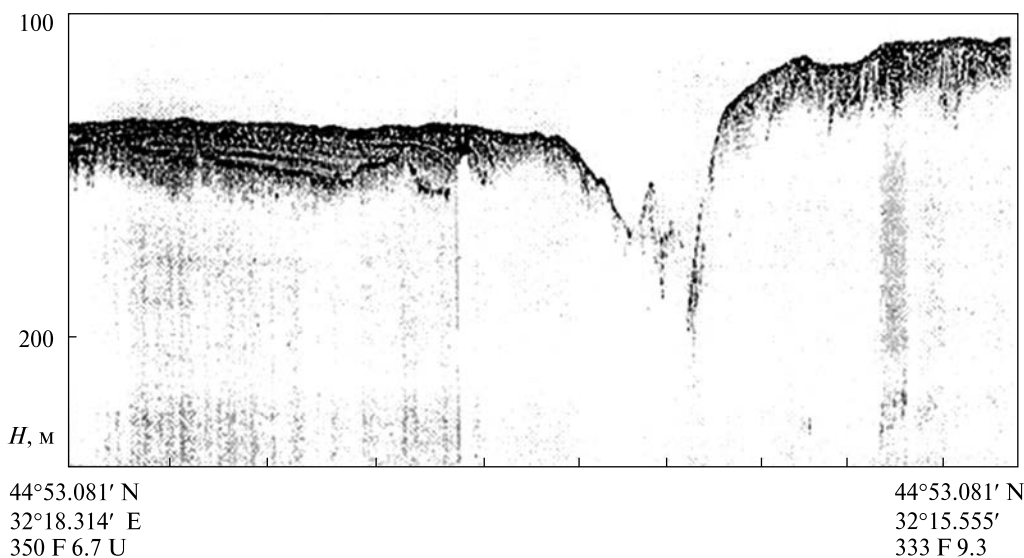


Рис. 6. Терасовані схили каньйону палео-Каланчак, за даними ГАК «Бук» НДС «Київ», [13]

підніжжя розчленовують каньйони, які тягнуться і в межі ложа западини. Ширина каньйонів на морському дні Західно-Чорноморської області похованих палеодельт змінюється від 150 до 2500 м. Глибина варіює від 400 до 500 м. Більшість з них має симетричні схили, що розширюються в результаті бічної підводної ерозії. Як правило, днища каньйонів складаються з уступів, що чергуються, і мають ступінчасту будову.

Переважання ерозійних типів рельєфу зумовило своєрідне положення верхньої бровки схилу, яка відступає тут далеко на північ і представлена фактично величезним ерозійним цирком (рис. 4). В зв'язку з цим перехід від шельфу до власне континентального схилу відбувається плавно, без різких перегинів, а кути нахилу поверхні незначні.

В центральній частині бровки континентального схилу, де кут нахилу шельфової рівнини збільшується, процеси донної ерозії, приурочені до палеорічкових долин, були інтенсивнішими і призводили до формування каньйонів. В 59-му рейсі НДС «Професор Водяницький» на ділянці з координатами 44°50'N та 32°19'E на глибині 200 м була зафіксована значна ерозійна денудація, вріз глибиною 30 м і шириною до 1500 м при крутизні схилу 2–3°. В геоморфологічному відношенні це пониження, мабуть, пов'язане з палеодолинами Каланчак, Альми і Качі, [15].

Геоморфологія басейну палео-Каланчак

Басейн палео-Каланчак, що є частиною затопленої рівнини північно-західного шельфу Чорного моря, включає площу розвитку «вододілів» його палеорічкової долини і власне каньйону. Формування основних типів ландшафтів тут пов'язане з процесами акумуляції морських осадів і подальшого ерозійного розчленування мулистими потоками в зонах субмаринного розвантаження підземних вод вздовж похованої долини річки палео-Каланчак. Її палеорічкова система на

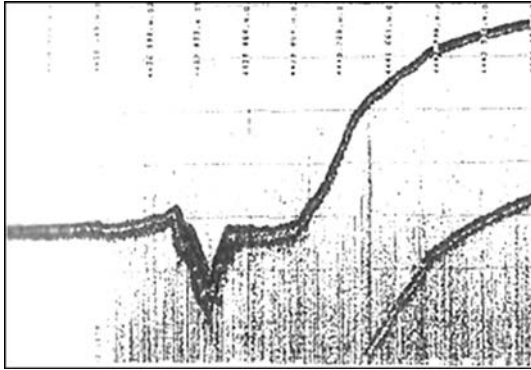


Рис. 7. Профіль врізу палео-Каланчакського каньйону за даними ГАК «Бук» НДС «Київ», [11]

зовнішній частині шельфу має субмеридіональне закладення і складається з двох зближених рукавів шириною до 2,5–3 км.

Глибина похованого ерозійного врізу палеодолини на траверсі мису Тарханкут складає 80–90 м. Північніше по долині відзначається

ще один ерозійний вріз завглибшки до 25–30 м, похований під сучасними осадами. Західніше палео-Каланчака відзначається невелика палеодолина, верхів'я якої починається дещо південніше Тендрівської коси, а гирло співпадає з одним з відрогів палео-Каланчацького каньйону. Довжина цієї палеодолини досягає 120 км, що цілком порівняно з більшістю невеликих річок північно-західного Причорномор'я [15].

Область найбільшого скупчення сипів палео-Каланчака охоплює перехідну зону між континентальним шельфом і континентальним схилом. Край шельфу в досліджуваному районі знаходиться на глибині 125 м. Шельф характеризується плоскою, субгоризонтальною поверхнею з максимальним нахилом 0,5°. Ближче до краю шельфу ця плоска поверхня локально уривається полем піщаних гряд. Більшість піщаних гряд мають північно-західну орієнтацію, висота їх складає 1,5–2,5 м. Гряди в основному симетричні. На південь від поля піщаних гряд спостерігаються витягнуті западини, ідентифіковані як покмарки, що злилися. Максимальна довжина западин 500 м, ширина 100 м, глибина 3 м (рис. 5) [17].

Палео-Каланчацька річкова долина врізана у бровку перегину шельфу і, завдяки субмаринному розвантаженню і дії мулистих потоків, дає початок однойменним каньйонам, що розчленовують поверхню схилу на окремі дендрито-подібні ущелини і вузькі «вододільні» хребти. В середній частині каньйони змінюють свою течію від субмеридіонального на південно-східне і східне біля підніжжя схилу. Фактично поверхня схилу утворює величезний мегацирк ерозійної денудації з уступом схилу, що активно розвивається, і каньйонами, що розгалужуються, глибина врізів яких досягає 60 м.

Центральна частина каньйону палео-Каланчак на континентальному схилі має різко поглиблений (до 342 м) V-подібний вріз. В деяких випадках спостерігалися поховані тераси потужністю до 30 м, схили каньйону ускладнені зсувними деформаціями, і блоками-східцями (рис. 6).

Східна сторона характеризується підводними зсувами, максимальний розмір яких складає від 3 до 5 км. Підводні зсуви охоплюють площу 38 км², на глибинах від 355 до 975 м. Основні гребені мають максимальну висоту 45 м утворюючи схили від 10 до 20°. В межах зсувів спостерігаються декілька невеликих ровів, що свідчить про багатократність цих процесів.

На окремих ділянках (45°01.15' N, 32°04.844' E) були виявлені тектонічні межі долини, що активізувалися на сучасному етапі і порушували цілісність верхньої частини розрізу придонних відкладень, [13].

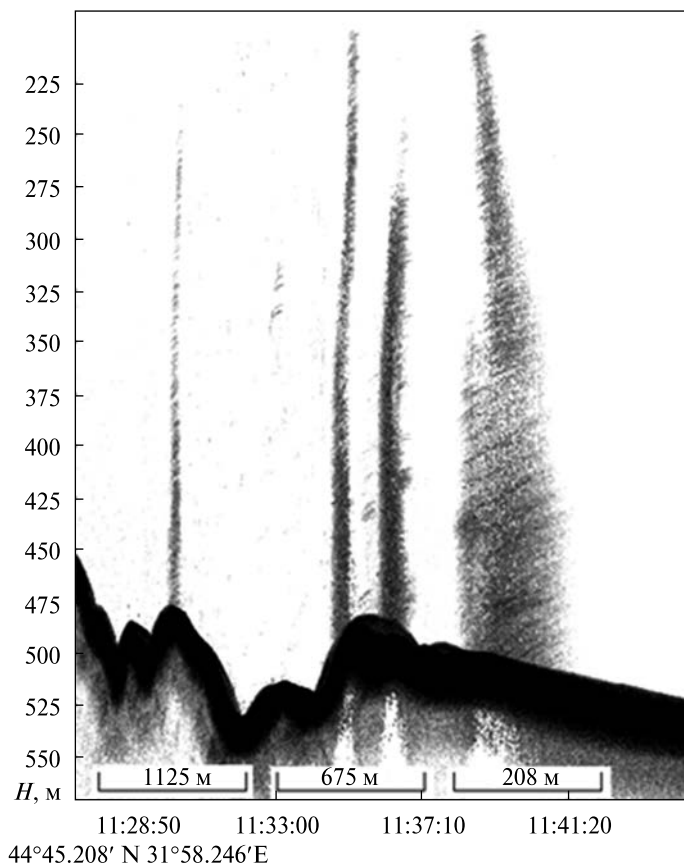


Рис. 8. Група факелів на складно-розчленованому рельєфі континентального схилу. 74-й рейс НДС «Професор Водяницький», 2013 р

В нижній течії основне русло палео-Каланчацького каньйону приймає U-подібний і коритоподібний профіль з різко вираженими крутими бортами, глибина врізу зменшується на відмітці 900—1000 м до 60 м, ширина його збільшується від 150 м до 2,5—3 км біля підніжжя схилу, [8].

В точці з координатами 44°35'N, 32°10'E в 59-му рейсі НДС «Професор Водяницький» був виявлений типовий каньйон завглибшки від 560 до 1050 м. Схили його мають крутизну 5—8° (рис. 7), [11]. На ділянках різких вигинів тальвегу його борти схильні до дії процесів бічної абразії. Ці ділянки зв'язані, як правило, з трьома ступінчастими уступами поверхні схилу. У формуванні його морфології велике значення мали зони субширотних надвигових структур, [7].

Існує просторовий зв'язок глибинних розломів субмеридіонального простягання з палеорічковими долинами північно-західної частини Чорного моря. Передусім, це стосується просторового успадкування палеоруслем Каланчака Миколаївського глибинного розлому, [12]. А саме, Каламітський каньйон просторово співпадає з Миколаївським глибинним розломом субмеридіонального простягання. Останній, в цій зоні зрушення, примикає до Одесько-Синопської розломної зони глибинного залягання і розділяє два типи підводного рельєфу. Структурно-денудаційний обривчастий тип рельєфу, що розвинений на схід від

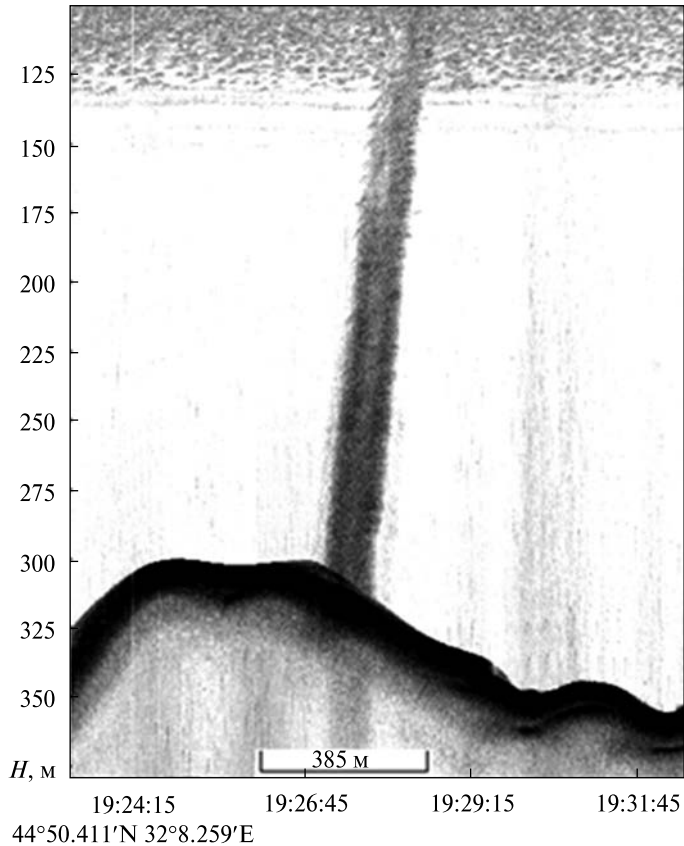


Рис. 9. Поодинокий факел на континентальному схилі. 73-й рейс НДС «Професор Водяницький», 2013 р.

Миколаївського глибинного розлому, тоді як пологий структурно-аккумулятивний — характерний для західної частини. Характерною особливістю структурно-денудаційного східного схилу є сильне розчленовування рельєфу і збільшення ухилу поверхні з глибиною моря до 120 м. На структурно-аккумулятивному, пологішому західному схилі широко розвинені сучасні геологічні процеси: підводні зсуви, обвали, суспензійні потоки, [18]. В результаті цих процесів відбувається перенесення і перевідкладення тонкодисперсного осадового матеріалу з материкової мілини через континентальний схил на абісальну рівнину глибоководної частини моря [16].

Газові факели палео-Каланчака

Для цього району характерний широкий розвиток полів газових факелів, газонасичених мулів і газогідратів. Всього в районі палео-Каланчака виявлено 3168 факелів. З них 390 були виявлені під час рейсів на науково-дослідних судах, проведених ДНУ ВМГОР НАН України, і 2778 описуються за літературними та іншими джерелам. Просторове розташування факелів (сипів) умовно розділяється на три області:

- сипи шельфу і переходу до континентального схилу;

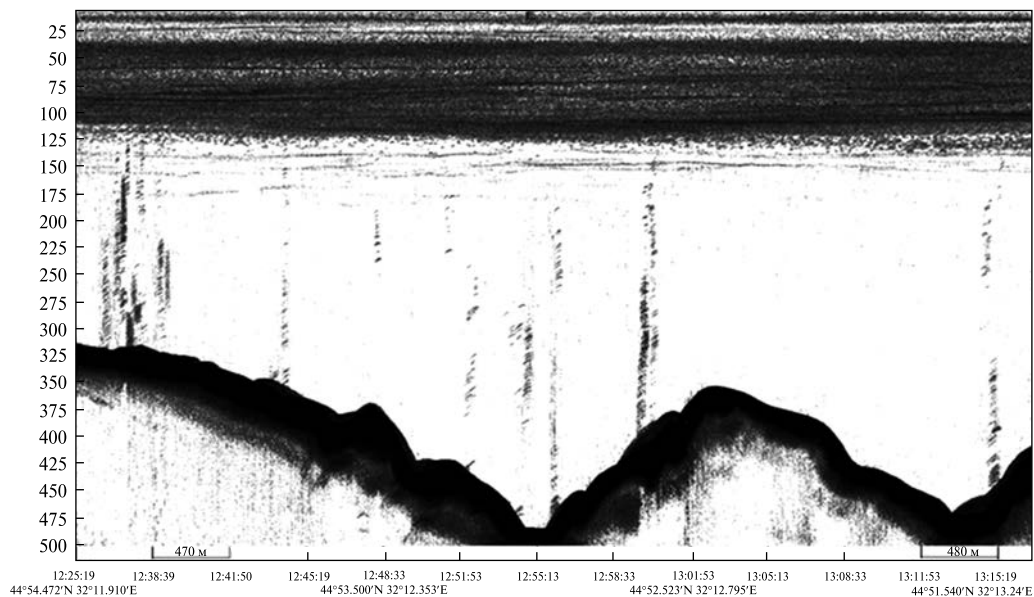


Рис. 10. Газовиділення на складнорозчленованому континентальному схилі дискретного характеру. 74-й рейс НДС «Професор Водяницький», 2013 р.

- сипи, розташовані на континентальному схилі і його верхній бровці;
- сипи біля підніжжя континентального схилу.

Найактивніші газопрояви в районі палео-Каланчака, як і в інших акваторіях Світового океану, приурочені до континентального схилу і його верхній бровці. Тут, в субширотному напрямі поля газових сипів фактично розташовані на західному і східному бортах палео-Каланчака і знаходяться на глибинах 200—600 м. В цій області факели (сипи) розташовуються по тальвегам каньйонної мережі, уздовж флангів каньйону, обривів, лінії гребеня, на вершинах пагорбів і вододілах, розломах у поєднанні з пониженнями і височинами, рідше — на вододільних рівнинах.

В багатьох літературних джерелах вказується локалізація сипів в палеодолинах річок, які фіксують на сейсмічних профілях значні порушення. Газові джерела, як правило, приурочені до плікативних, частіше диз'юнктивних тектонічних порушень. Зони загального зім'яття і дроблення порід під полями газових факелів досягають глибини 500 м.

Тут зустрічаються як поодинокі розсіяні факели, так і групові поля, що налічують 5 і більше сипів. Такі групи сипів були виявлені в 5—7-му рейсах НДС «Київ». В межах ділянки з координатами 44°42'—44°45'N, 31°40'—31°48'E зафіксоване поле з 6 факелів у верхів'ї безіменного каньйону в межах 200-ої ізобати. Ще одне газове поле з 11-ти розсіяних поодиноких газових факелів було зафіксоване на глибинах від 200 до 300 м і глибше, витягнуте в субширотному напрямі. Усереднені координати зони складають значення 44°40'—44°48'N, 31°24'—31°45'E. Рельєф цієї частини континентального схилу характеризується чергуванням вузьких підводних підвищень і протяжних каньйонообразних врізів. Газовиділення приурочені як до позитивних, так і до від'ємних форм рельєфу, [15].

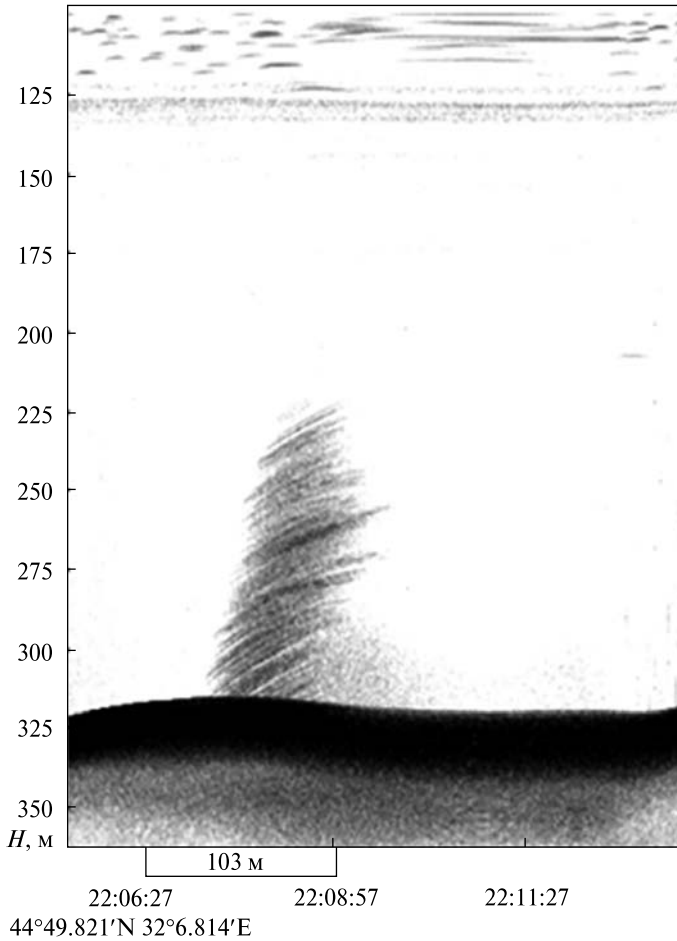


Рис. 11. Газовиділення пульсаційного характеру. 73-й рейс НДС «Професор Водяницький», 2013 р.

За морфологією сипи на пересіченій поверхні схилу бувають суцільні від дна (рис. 8, 9), дискретні (рис. 10), пульсаційні (рис. 11), дифузійно-пульсаційні (рис. 12), висячі (рис. 13).

Факели в цьому районі найчастіше високі — 200 м і вище. За потужністю високі факели, як правило, є більш чітко виражені, ніж факели невеликих розмірів.

При дослідженні шельфу району палео-Каланчака були виявлені досягаючі поверхні окремими струменями як поодинокі факели (рис. 14), так і множинні поля (рис. 15). Іноді факели зливаються воедино в потужний фонтан (рис. 16).

Деякі факели характеризуються своєрідною формою, що нагадує «туманність» або розсіяне газовиділення (рис. 17). За формою можна ще виділити придонно-площадкові газовиділення (рис. 18), а також дифузійно-розсіяні (рис. 19). По висоті поодинокі і групові факели не перевищують 100 м, переважно це факели 50—100 м.

За своєю морфологією сипи шельфу бувають як суцільні від дна (див. рис. 17), так і переривчасті, дискретні (рис. 20). Причому, дискретну форму мають не

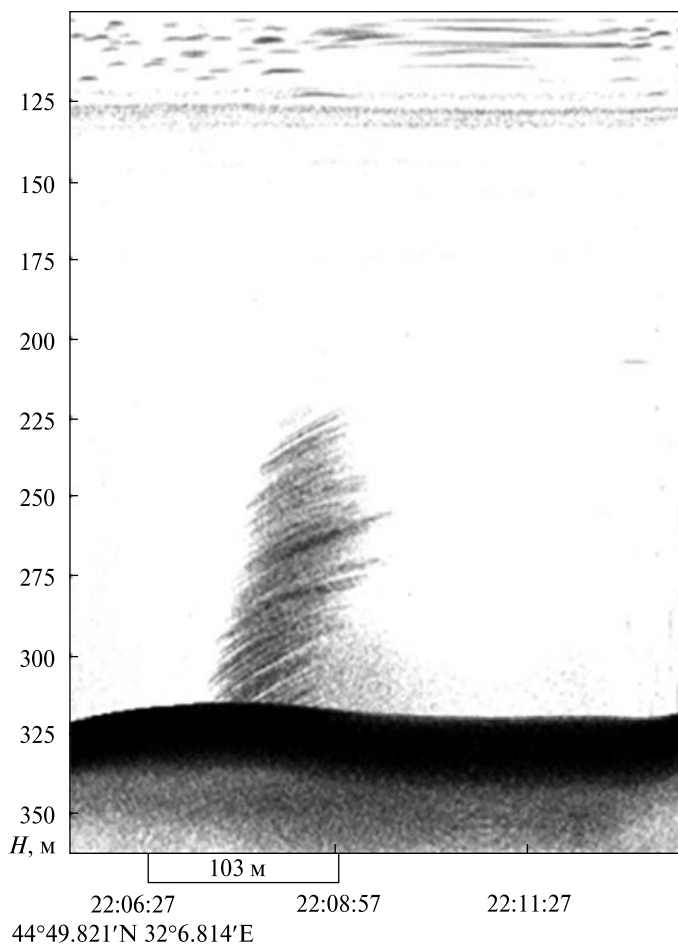


Рис. 12. Дифузійно-пульсаційне газовиділення на континентальному схилі. 73-й рейс НДС «Професор Водяницький», 2013 р.

лише поодинокі або групові факели, але і газовиділення у вигляді туманностей або придонно-площадкові газовиділення (див. рис. 18, 19).

Різні факели шельфу і за потужністю газовиділення. Потужніші факели розташовані в перехідній зоні від шельфу до континентального схилу (рис. 21). На таких ділянках факели можуть досягати 200 м і вище. На глибинах 50—100 м факели менш потужні або слабкі, і відповідно значно менше за висотою газового стовба.

На глибині 95—100 м ехограми фіксують вертикальну структуру факелів і морфоструктурні особливості рельєфу морського дна (увігнутий, рівнинний, сопково-горбистий, увалистий і так далі). Тут виявлені сипи (координати $44^{\circ}57.24' - 32^{\circ}11.42'$), приурочені до кільцевих морфоструктур з діаметром від 2,5 до 4 м. Центральна частина морфоструктур має форму покмарку. На поверхні морфоструктури знаходяться грифони округлої форми, часто у вигляді локальних мініатюрних сопок з кільцевими кальдерами просідання.

Гідроакустичні спостереження дозволили також виявити і зафіксувати в якості постійно діючого чинника глибоководні сипи. Це область підніжжя кон-

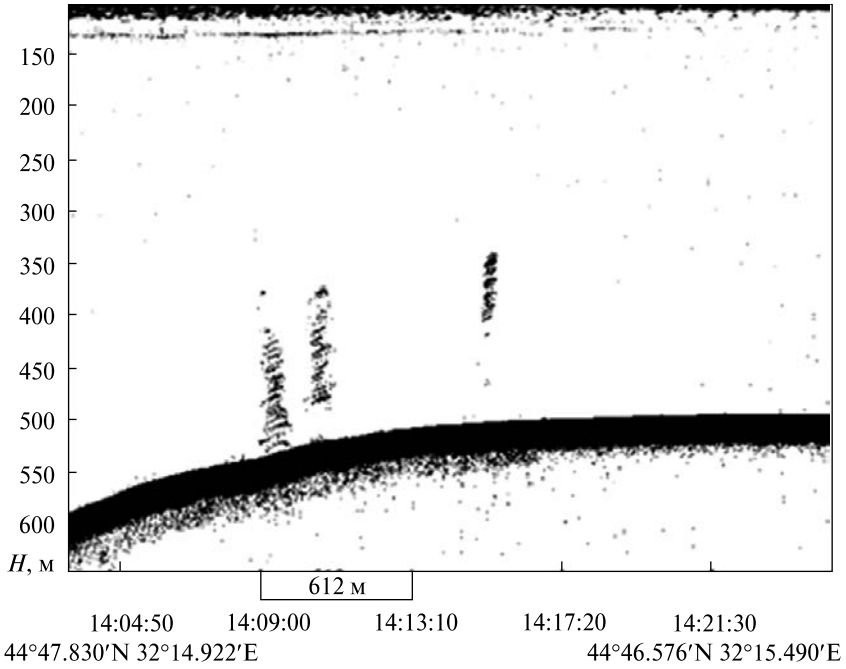


Рис. 13. Висячі факели континентального схилу. 74-й рейс НДС «Професор Водяницький», 2013 р.

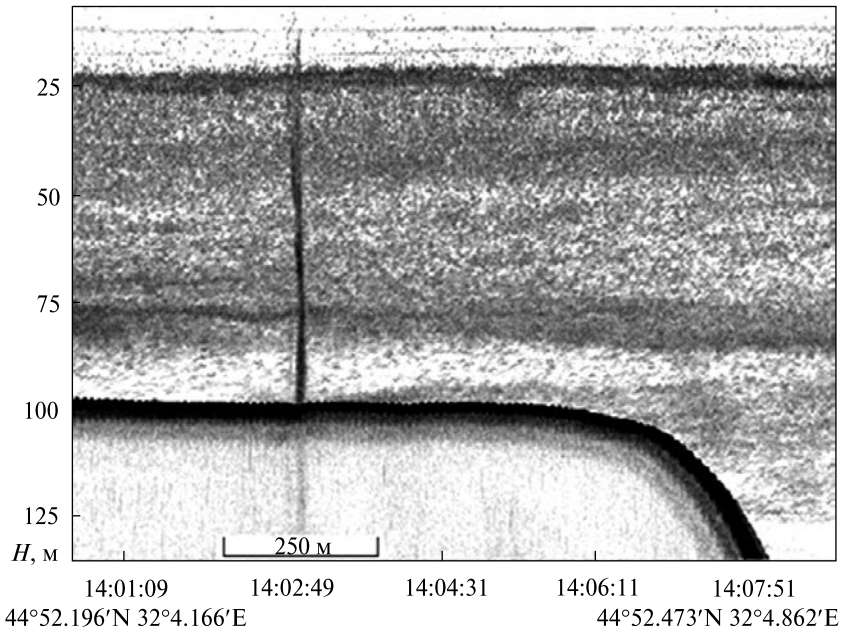


Рис. 14. Поодинокий факел на шельфі палео-Каланчакського району. 73-й рейс НДС «Професор Водяницький», 2013 р.

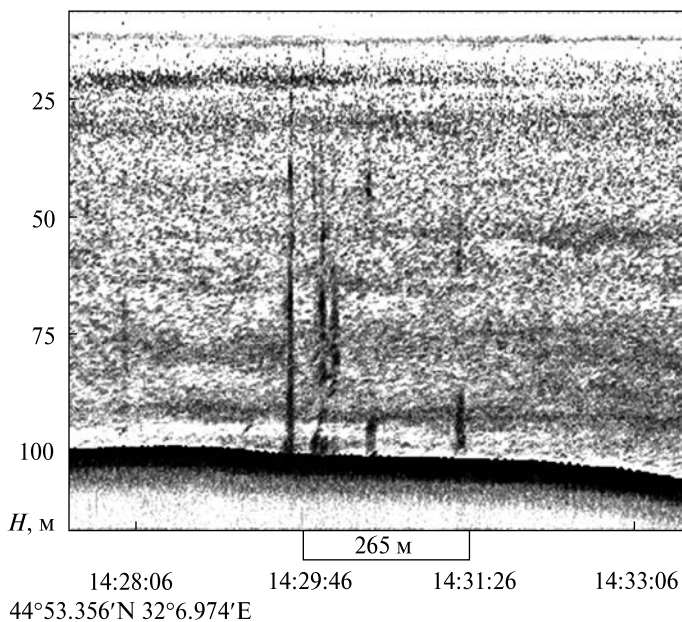


Рис. 15. Група факелів на шельфі палео-Каланчакського району, суцільні і дискретні. 73-й рейс НДС «Професор Водяницький», 2013 р.

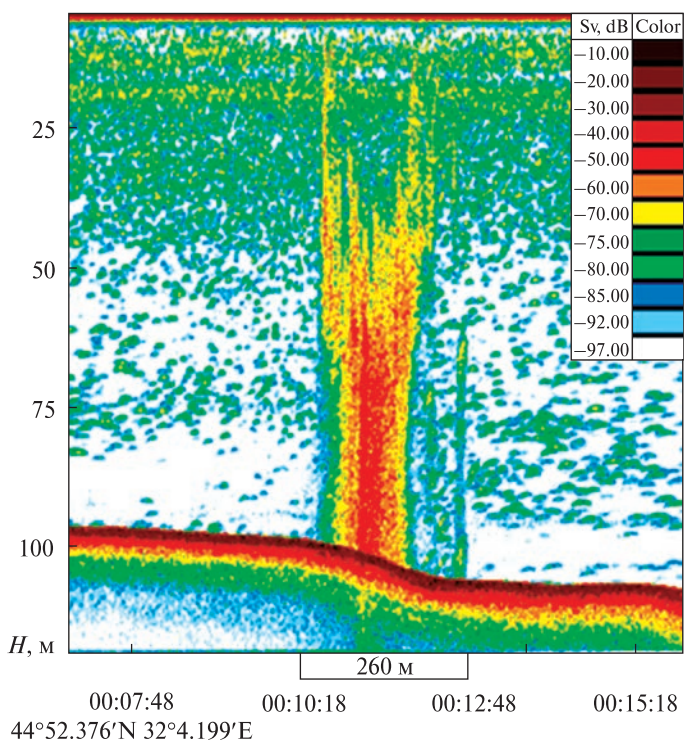


Рис. 16. Група факелів, що злилися, на шельфі палео-Каланчакського району. 73-й рейс НДС «Професор Водяницький», 2013 р.

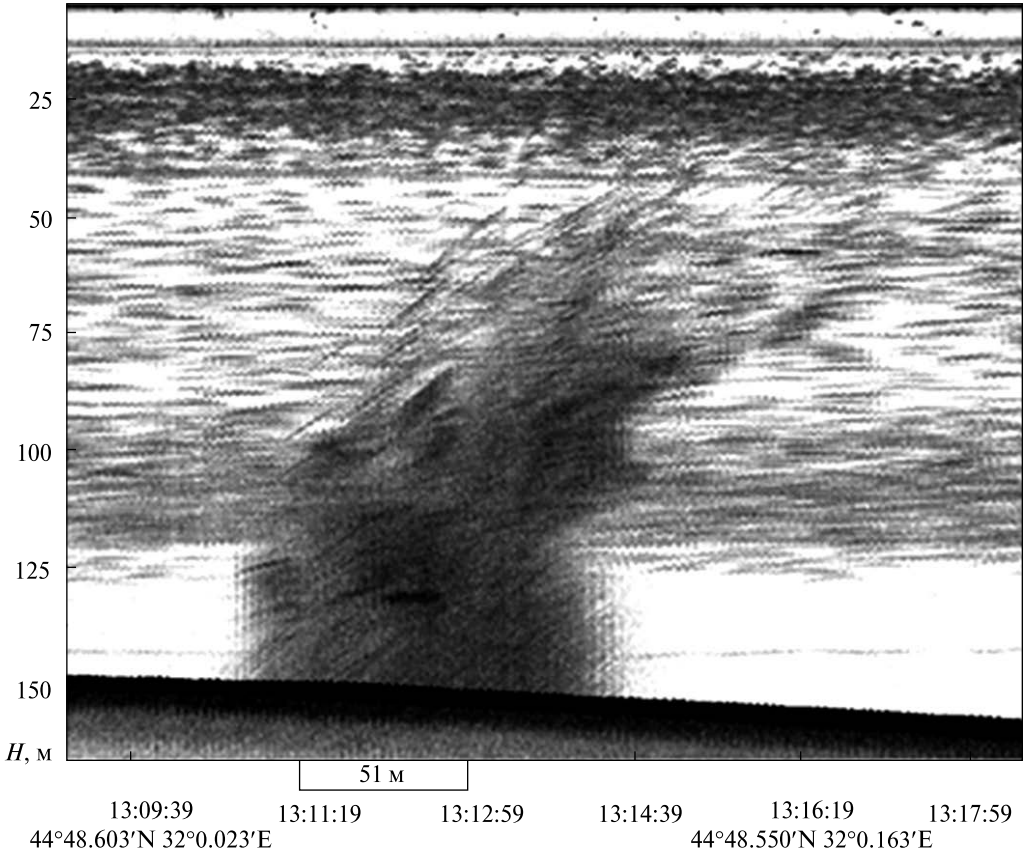


Рис. 17. Газовиділення на шельфі палео-Каланчакського району у вигляді розсіяної туманності. 73-й рейс НДС «Професор Водяницький», 2013 р.

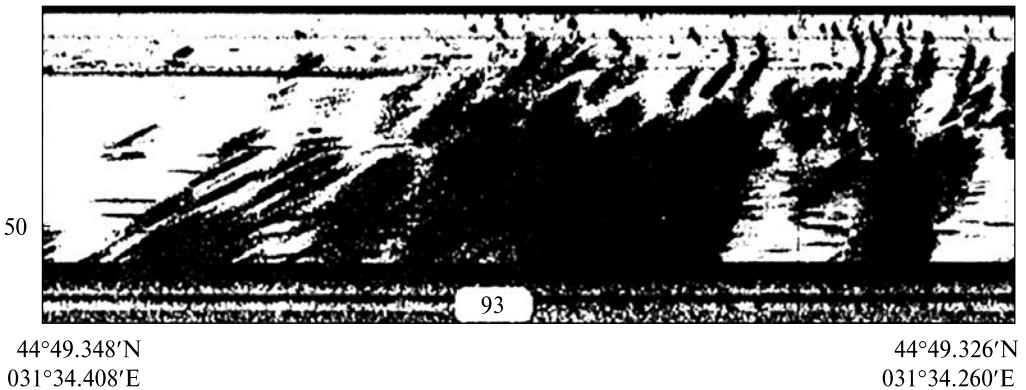


Рис. 18. Придонно-площадкові газовиділення (газова туманність)

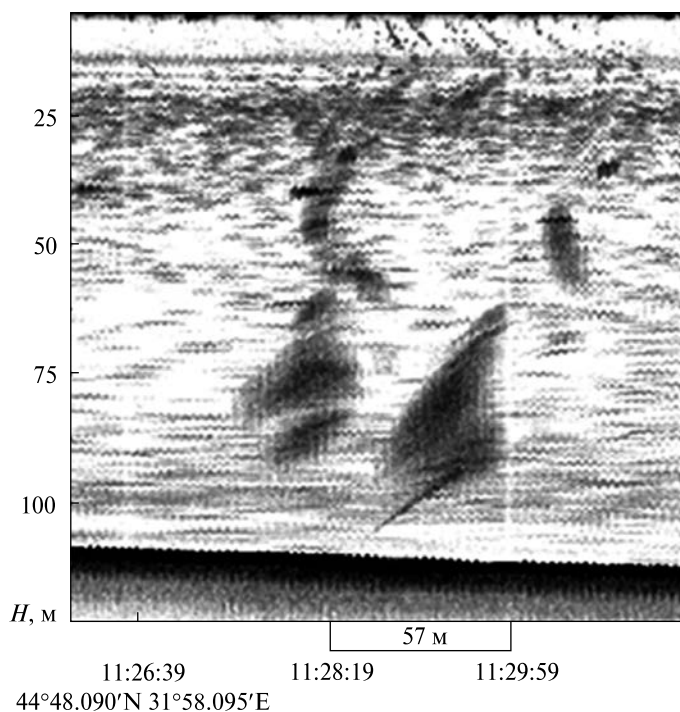


Рис. 19. Дифузійно-розсіяні газовиділення. 73-й рейс НДС «Професор Водяницький», 2013 р.

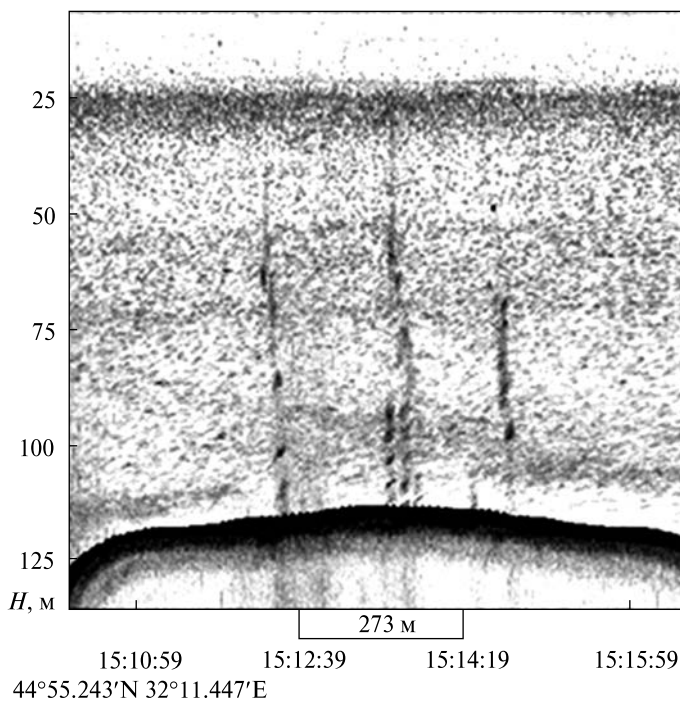


Рис. 20. Переривчасто-дискретні факели шельфу палео-Каланчака. 73-й рейс НДС «Професор Водяницький», 2013 р.

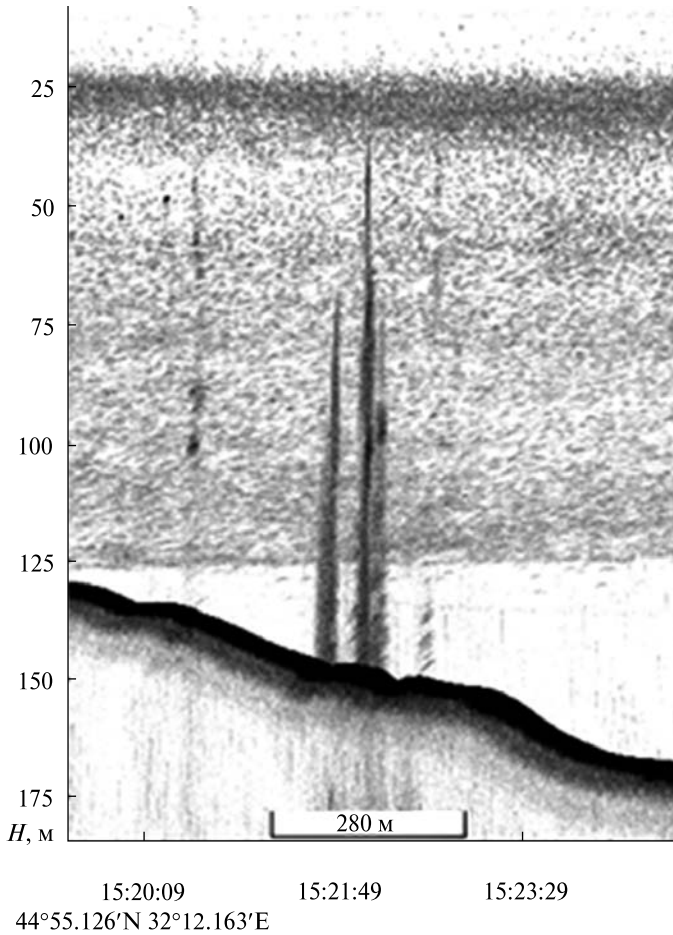


Рис. 21. Факели на бровці схилу заввишки більше 200 м. 73-й рейс НДС «Професор Водяницький», 2013 р.

тинентального схилу завглибшки понад 600 м. Рельєф в цій частині дуже розчленований. Записи гідроакустичних сигналів показують, що газові виділення тут пов'язані із зонами підвищеної тріщинуватості і локальних розривів суцільності порід. Слабкохвильові поверхні змінюються дислокованими і перем'яними структурами шарів осадків у вигляді ланцюга тектонічних сопок, що чергуються, і синклінальних прогинів. Вершинні поверхні сопок нерідко ускладнені кальдерами і зонами вертикальних розривів, що виконують роль каналів по яким підходить газ. З таких розривів походить інтенсивне газовиділення у вигляді групових або поодиноких газових факелів (рис. 22). Висота видимої частини факелів різна — від 50 до 250 м і вище. Максимальна висота факелу, що спостерігалась — 280 м. На ехограмах також видно газопрояви на понижених ділянках. Це газові туманності дифузного розсіювання. Всього в цій частині акваторії Чорного моря було зафіксовано близько 256 факелів.

Уявлення про розподіл кількості факелів за глибиною відображає гістограма (рис. 23). На рис. 24 представлений розподіл кількості газових факелів за висо-

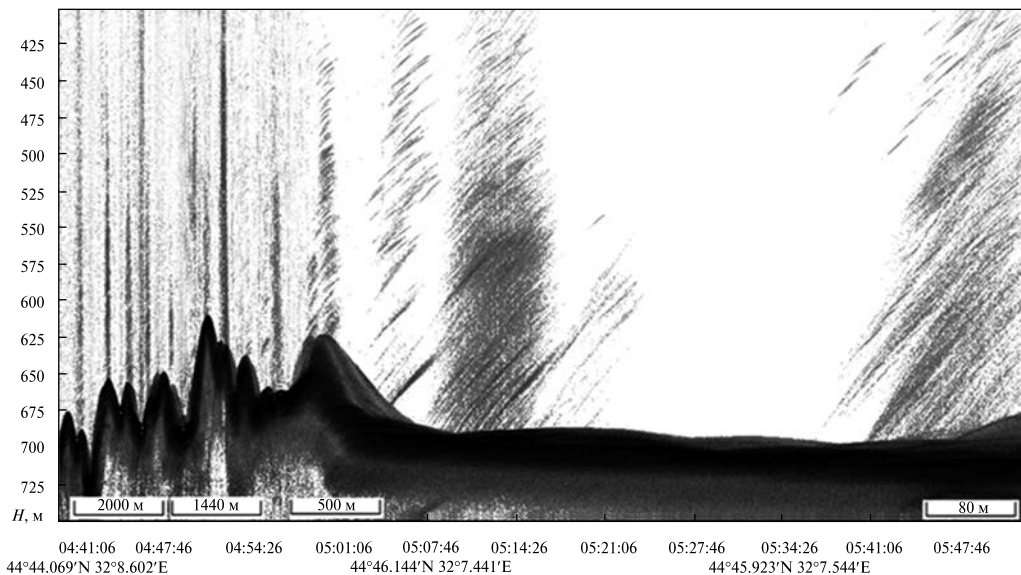


Рис. 22. Факели підніжжя континентального схилу, ускладненого кальдерами і зонами вертикальних розривів. 74-й рейс НДС «Професор Водяницький», 2013 р.

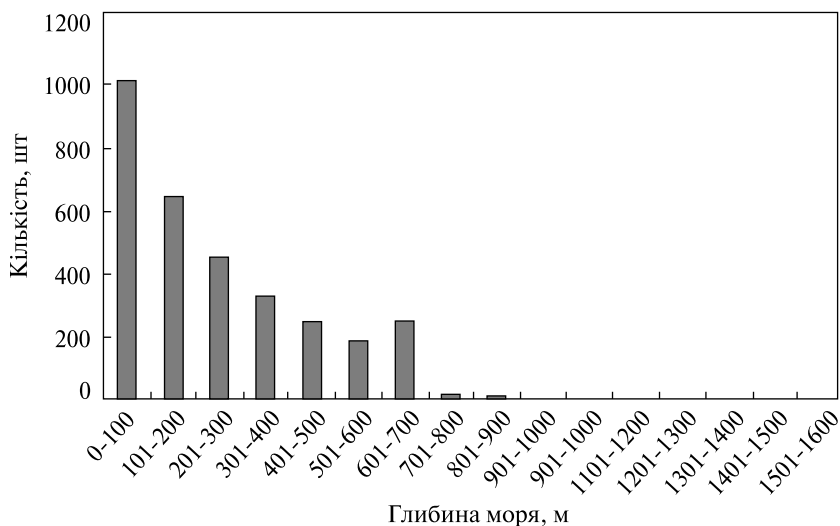


Рис. 23. Гістограма кількості газових факелів по глибині. Палео-Каланчак

тою, яка в палео-Каланчацькому районі різна і коливається від 10 до 500 м. Слід зазначити, що майже на всіх зображеннях газові струмені не виходять на поверхню, навіть будучи розташованими на мінімальних глибинах. Переважно вони розчиняються при підході до приповерхневих горизонтів. На деяких ехограмах виразно видно окремі бульбашки газу, що вінчають газові струмені.

Відмітимо, що з 3168 факелів, зафіксованих в палео-Каланчацькому районі, для побудов використано тільки 628 сипів. Висота інших факелів не вимірю-

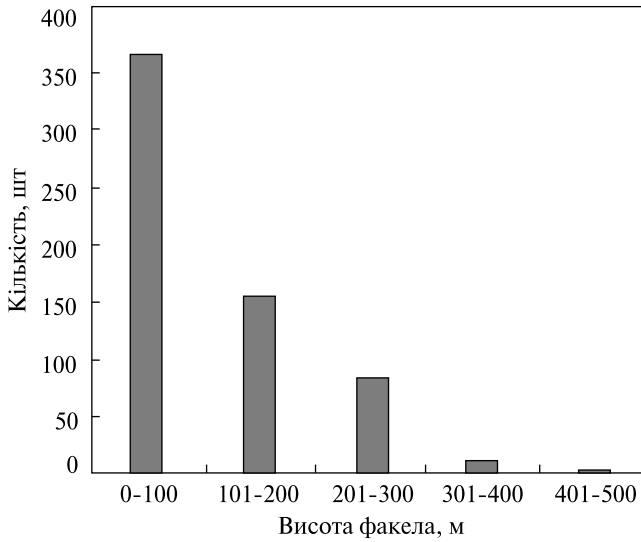


Рис. 24. Гістограма кількості газових факелів по висоті. Палео-Каланчак

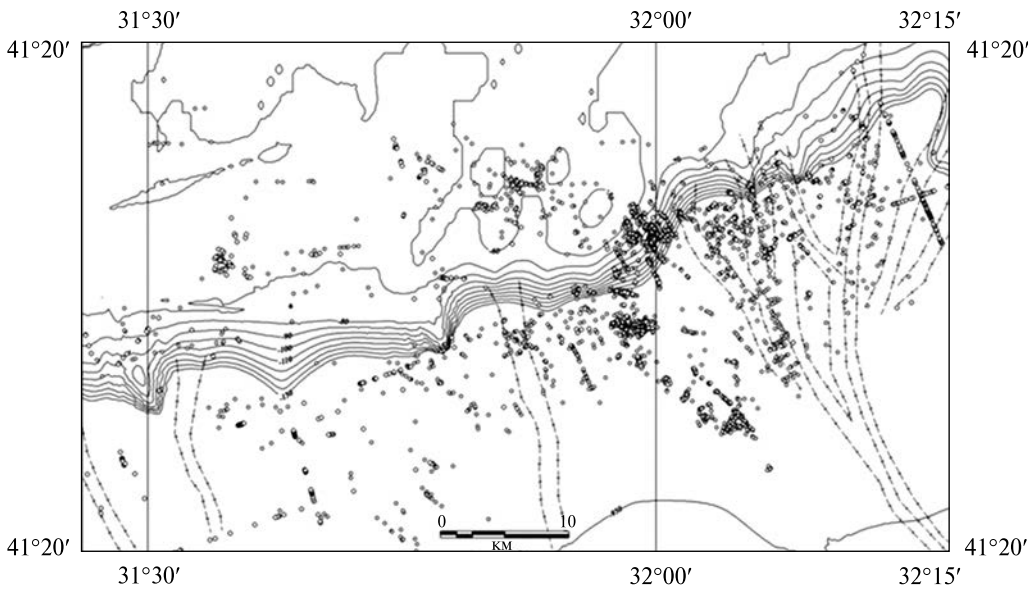


Рис. 25. Розташування газових факелів в районі палео-Каланчака

валася. Для 628 сипів в процентному співвідношенні ці дані такі: висота факела від 0 до 100 м — 58,60 %; від 101 до 200 м — 25,32 %; від 201 до 300 м — 13,69 %; від 301 до 400 м — 2,07; від 401 до 500 — 0,32 %.

Факели найчастіше мають конічну форму, що поступово стоншується до поверхні, проте деякі газовиділення, розташовані переважно на шельфі, мають газіві поля у вигляді «туманностей».

Умовний середній діаметр поодиноких конусів підрахований з урахуванням швидкості руху судна над поверхнею дна і варіює в межах від 10 до 40 м.

Розташування газових факелів в районі палео-Каланчака показано на схемі (рис. 25).

Висновки

Більшість факелів в досліджуваному районі приурочена до верхньої частини континентального схилу і прилеглої області шельфу. Це своєрідна перехідна зона від материкової частини до глибоководного ложа Чорноморської западини, що має чітко виражений флексурно-розломний характер, обумовлений глобальними тектонічними процесами. Палеорусл річки Каланчак просторово наслідуює Миколаївський глибинний розлом субмеридіонального простягання. Останній в цій зоні зрушення, прилягає до Одесько-Синопської зони глибинного залягання. Таке розташування газових факелів дає можливість припускати пряме підживлення сипів газами з глибинних розломів.

В досліджуваному районі спостерігається взаємозв'язок розміщення факелів з регіональними особливостями і геоморфологічними структурами. Так, на шельфі відмічена приуроченість сипів до круглих або витягнутих морфоструктур (покмаркам), тоді як в районі континентального схилу і його верхньої бровки, де знаходяться найбільш активні газопрояви, факели розташовуються по тальвегам каньйонної мережі, по периферії каньйонів, обривів, лініям гребенів, на вершинах пагорбів.

В глибоководній частині, біля підніжжя континентального схилу (глибше 600 м) газовиділення, як показують записи гідроакустичних сигналів, пов'язані із зонами підвищеної тріщинуватості і вертикальних розривів суцільності порід які виконують роль каналів, що підводять газ.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Андрусов Н.И. Палеогеографические карты Черноморской области в верхнемиоценовую, понтическую и чаудинскую эпохи в эпоху Эвксинского озера. Бюлл. МОИП, отд. геол. Т. 4, 1926. С. 183—188.
2. Егоров В.Н., Артемов Ю.Г., Гулин С.Б. Метановые сипы в Черном море: средообразующая и экологическая роль. Севастополь: НПЦ «Гидрофизика». 2011. 405 с.
3. Егоров В.Н., Поликарпов Г.Г., Гулин С.Б. и др. Современные представления о средообразующей и экологической роли струйных метановых газовыделений со дна Чёрного моря. *Морской экологический журнал*. 2003. Т. 2. № 3. С. 5—26.
4. Иноземцев Ю.И., Парышев А.А., Ступина Л.В., Рыбак Е.Н. Палеогеография Азово-Черноморского бассейна в четвертичное время. *Геол. і кор. копал. Світового океану*. 2019. Т. 15. № 4. С. 36—56.
5. Мельник В.И. Мезаформы рельефу материкового схилу Чорного моря. *Геол. журнал*. 1986. № 1—2. С. 124—131.
6. Осика Д.Г. Флюидный режим сейсмически активных областей. М.: Наука. 1981. 203 с.
7. Пасынков А.А., Воронов С.А., Блинцов В.С., Кадурын С.В. Морфоструктурные особенности морского дна на участках газопроявлений в северо-западной части Черного моря. *Геол. и полезн. ископ. Мирового океана*. 2012. № 4. С. 82—87.
8. Пасынкова Л.А. Региональная оценка геодинамической устойчивости ландшафта континентального склона Черного моря. *Геол. журн*. 2003. № 1. С. 80—85.

9. Сывороткин В.Л. Глубинная дегазация Земли и глобальные катастрофы. М.: ООО «Геоинформцентр». 2002. 25 с.
10. Шнюков Е.Ф., Иноземцев Ю.И., Куковская Т.С. и др. Геолого-океанические исследования в Черном море (НИС «Профессор Водяницкий» 2013 г., 73-й рейс). Киев: ОМГОР. 2014. 136 с.
11. Шнюков Е.Ф., Клещенко С.А., Пасынков А.А., Любицкий А.А. Новые сведения о газовой делении в структурах северо-восточного шельфа и континентального склона Черного моря. *Геол. журн.* 2004. № 4. С. 12—15.
12. Шнюков Е.Ф., Коболев В.П. О глубинной природе дегазации дна Черного моря. *Геотехнологии.* 2018. № 1. С. 1—11.
13. Шнюков Е.Ф., Коболев В.П., Иванников А.В. и др. Геология Черного моря (по результатам геологических и геофизических исследований 5-го рейса НИС «Киев». Киев. ОМГОР ННПМ НАН Украины. 1997. 188 с.
14. Шнюков Е.Ф., Коболев В.П., Кузнецов А.С. и др. Проблема сапропелей Черного моря. Киев : ОМГОР. 2010. 148 с.
15. Шнюков Е.Ф., Пасынков А.А., Клещенко С.А. и др. Газовые факелы на дне Черного моря. Киев, 1999. 134 с.
16. Lericolais G., Bourget J., Popescu I., Jermannaud P., Mulder T., Jorry S., Panin N. Late Quaternary deep-sea sedimentation in the western Black Sea: New insights from recent coring and seismic data in the deep basin // *Global and Planetary Change*, 2012. doi:10.1016/j.gloplacha.2012.05.002.
17. Nauds L., Greinert J., Artemov Yu., Staelens P., Poort J., Van Rensbergen P., De Dattist M., Geological and morphological setting of 2778 methane seeps in the Dniepr paleodelta, northwestern Black Sea, *Marine Geology*, 2006. P. 177—199.
18. Wong H.K., Ludmann T., Panin N., Konerding P., Dinu C., 2002. Northwestern Black Sea: Upper Quaternary water level and sedimentation. In: Briand, F. (Ed.), *Turbidite Systems and Deep-Sea Fans of the Mediterranean and the Black Seas*, CIESM Workshop series, vol. 17. Monaco, P. 85—89.

Стаття надійшла 20.01.2021

Ye.F. Shnyukov, Acad. of NAS of Ukraine, Dr. Sci. (Geol. & Mineral.)

Prof., Advisor to the Directorate

SSI «MorGeoEkoCenter» of NAS of Ukraine, Kyiv

55-b, O. Honchara str., Kyiv, Ukraine, 01054

E-mail: eshnyukov@gmail.com

ORCID 0000A0003A1173A2576

Yu.I. Inozemtsev, Dr. Sci. (Geol.), Senior Research Scientist

Leading Research Scientist

SSI «MorGeoEkoCenter» of NAS of Ukraine, Kyiv

55-b, O. Honchara str., Kyiv, Ukraine, 01054

ORCID 0000-0002-4083-8292

O.M. Rybak, PhD (Geol. & Mineral.), Senior Research

Senior Research Scientist

SSI «MorGeoEkoCenter» of NAS of Ukraine, Kyiv

55-b, O. Honchara str., Kyiv, Ukraine, 01054

ORCID 0000-0001-5746-7259

O.O. Parishev, PhD (Geol. & Mineral.), Senior Research

Senior Research Scientist

SSI «MorGeoEkoCenter» of NAS of Ukraine, Kyiv

55-b, O. Honchara str., Kyiv, Ukraine, 01054

ORCID 0000-0003-1318-9650

L.V. Stupina, PhD (Geol.), Senior Research Scientist

SSI «MorGeoEkoCenter» of NAS of Ukraine, Kyiv

55-b, O. Honchara str., Kyiv, Ukraine, 01054

ORCID 0000-0002-5082-0862

GAS CHIMNEYS IN THE NW BLACK SEA NEAR THE KALANCHAK PALEO-RIVER

The publication is based on a large body of data on gas outcrops in the northwest of the Black Sea, and in particular, the paleo-Kalanchak area. The material was obtained during the voyages carried out on the R/V of the Department of Marine Geology and Sedimentary Ore Formation of the National Academy of Sciences of Ukraine, as well as data from literary sources.

More than 3000 methane sips were identified in the study area. The vast majority of gas emissions in the area of paleo-river Kalanchak, as well as in other areas of the northwestern sector of the Black Sea, is confined to the upper part of the continental slope and the adjacent area of the shelf. Practically it is a band 45 km wide on both sides of the shelf edge.

Seismic and acoustic profiles were studied in this article. Their analysis indicates that gas chimneys are not distributed randomly but concentrated in specific locations. A certain relationship between the spatial distribution of methane outcrops on the seafloor and geomorphological structures, as well as tectonic structure, primarily faults is traced.

Gas chimneys are associated with various forms of seafloor topography, but their greatest number is located at the mouths of paleo-river canyons. The article provides more detailed geomorphological information of the paleo-river network of the NW Black Sea.

In the estuarine canyon, gas emissions form along the sedimentary ridges, gas chimneys appear at the bottoms of canyons, their peripheries, or near the dumps of submarine landslides, where the sedimentary cover is disturbed by mass transport. On the shelf, the greatest concentration of gas chimneys is found in circular and elongated depressions (pockmarks). Based on the study of acoustic profiles, gas chimneys of the Paleo-Kalanchak part of the Black Sea were classified according to a few features: the depth of location, height of gas release, gas flow capacity, form of gas release, mode of operation. The results of the research are also presented in graphical materials (histograms of gas chimneys distribution by depth and height of gas discharge, map of sip location by the Paleo-Kalanchak River area).

Key words: *northwestern Black Sea, paleo-Kalanchak, gas chimneys, gas sips.*