

Дегасація Землі

Degassing of the Earth

<https://doi.org/10.15407/gpimo2021.04.003>

Є.Ф. Шнюков, академік НАН України,

докт. геол.-мін. наук, проф., почесний директор

E-mail: eshnyukov@gmail.com

ORCID 0000-0003-1173-2576

ДНУ «Центр проблем морської геології, геоекології і осадового рудоутворення НАН України»

01054, Київ, вул. Олесь Гончара, 55-б

В.П. Коболев, член-кор. НАН України, докт. геол. наук, проф., гол. наук. співроб.

E-mail: kobol@igph.kiev.ua

ORCID 0000-0001-5625-5473

Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України

03142, Київ, пр. Палладіна, 32

ВОГНЯНІ ГАЗОВІ ПЛЮМИ ПІД ЧАС ЯЛТИНСЬКИХ ЗЕМЛЕТРУСІВ 1927 РОКУ

Під час Ялтинських землетрусів 1927 року у Чорному морі спостерігалися потужні викиди метану, які супроводжувалися незрозумілими природними явищами — спалахами вогню над водою. Особливо, на які геологи не звертали увагу, пов'язані з загоранням метану, який виривався з дна моря через утворені при сейсмічних рухах тектонічні порушення. В статті аналізується глибинна будова осередкових зон та характер сейсмічного процесу, оцінюється можлива природа проявів вогняних явищ. Головним їх чинником вважається метан, що виривався із земної кори під час землетрусів і спалахував під дією іскрових електричних розрядів, утворених при терті та зіткненні порід. Наголошується на грандіозних обсягах викидів газу — мільйони кубічних метрів метану, які пропонується вважати свого роду газовими плюмами, природа яких пов'язується з зонами глибинних розломів верхньої мантії. Встановлена просторова і часова направленість вогняних явищ. Основні смуги спалахів вогню над водою розповсюджувалися у двох напрямках. Перша за часом, Севастопольско-Євпаторійська зона, витягнута субмеридіонально на заході від узбережжя, просторово наслідує Миколаївський розлом. Друга за часом, Ялтинсько-Алуштинська зона північно-східного простягання, пов'язана з тектонічними порушеннями у межах Циркумчорноморської зони розломів. Ця розломна зона зберігає активність і в теперішній час, що підтверджується сейсмічністю, будовою консолідованої кори і осадової товщі, формами рельєфу дна тощо.

Аналіз наявних геолого-геофізичних матеріалів, сейсмічність півночі Чорноморського регіону, вказують на те, що вогняні явища під час ялтинських землетрусів 1927 року зумовлені грандіозними викидами метану у результаті потужного мантійного газо-флюїдного витоку в розуцільнені зони кристалічного фундаменту вздовж тектонічних порушень різного масштабу в межах Одесько-Синопської та Циркумчорноморської розломних зон. Землетруси слугували тригером активізації тектонічних порушень в придонних осадових горизонтах для міграції сфокусованих глибинних газо-флюїдних потоків.

Ключові слова: газові плюми, викиди газу, розломні зони, Чорне море, землетруси.

Цитування: Шнюков Є.Ф., Коболев В.П. Вогняні газові плюми під час ялтинських землетрусів 1927 року. *Геологія і корисні копалини Світового океану*. 2021. 17, № 4: 3—20. <https://doi.org/10.15407/gpimo2021.04.003>

Вступ

Безпрецедентна інтенсивність газового розвантаження морського дна визначає Чорне море як унікальний метановміщуючий басейн. Метан знаходиться у воді, донних відкладах, породах дна. Найбільш поширеними формами виділення метану є струменеві газові прояви морського дна (газові сипи, факели, фонтани), які зафіксовані практично по всьому периметру Чорного моря. Вони приурочені в основному до зовнішнього шельфу і верхньої частини материкового схилу. Газових струменевих проявів безліч, а найвища їх концентрація зафіксована в північно-західній акваторії Чорного моря [5].

Струменеві газові прояви не є єдиним джерелом виділення метану з морського дна. Іншими газовими проявами є інтенсивні, нерідко вибухові викиди газу у грязьових вулканах. Наразі в Чорному морі задокументовано 79 грязьових вулканів, які представляють собою своєрідний прояв діапирової тектоніки. Грязьові вулкани локалізовані найчастіше у Західно-Чорноморській западині. Транспортування грязьового матеріалу здійснюється газо-флюїдною сумішшю, що виривається під великим тиском зі значних глибин [41, 42]. Прояви підводного грязьового вулканізму і його вплив на еволюцію мегазападини Чорного моря наразі залишаються недооціненими і практично недослідженими.

Зрештою, у Чорному морі спостерігався третій потужний вид газовіддачі — одномоментні викиди метану унаслідок Ялтинських землетрусів 1927 року, що супроводжувалися вогненними явищами. На останні вперше звернув увагу А.А. Ніконов (2002) у своїй статті про природні явища в Чорному морі. Раніше природа даних явищ залишалась поза увагою геологів. Натомість, уже в 1930-х роках дослідники допускали, що спалахи вогню над водою пов'язані з загоранням метану, який виривався з дна моря через тріщини, утворені при сейсмічних рухах.

Дана стаття є спробою систематизувати отримані останніми роками під час численних наукових експедицій на різних наукових судах геологічні та геофізичні матеріали, які дають можливість уточнити структурно-тектонічну будову акваторії Чорного моря. Зокрема, були відкриті поклади нового виду вуглеводневої сировини — газогідратів метану [44]. Всі ці нові матеріали, поряд з аналізом наявних даних стосовно сейсмічності Кримського регіону, дають можливість пояснити раніше незрозумілі вогняні явища, що спостерігалися під час Ялтинських землетрусів 1927 року та полегшують тлумачення і розуміння їх природи.

Причиною цих вогняних явищ слід вважати метан, що виривається із земної кори і займається під дією іскрових електричних розрядів при терті та зіткненні порід, що переносяться глибинними газами. Досліджуючи вищезазначені вогняні явища, ми насамперед звернули увагу на їх величезні масштаби. Так, обсяги викидів газу під час Ялтинських землетрусів 1927 року були значними — мільйони кубічних метрів метану. Саме це наштовхнуло нас на думку вважати викиди певною мірою газовими плюмами, а їх генезис пов'язати з верхньою мантією і глибинними розломними зонами.

З історії кримських землетрусів. Історична довідка про більш-менш достовірні відомості стосовно стародавніх землетрусів в Криму наведена в статті А.І. Маркевича (1928). Проте повніший історіографічний огляд Кримських землетрусів був виконаний істориком В.В. Хапаєвим (2006), який критично розгля-

нув відомі письмові свідчення щодо їх достовірності. Коротко зупинимося на деяких найбільш значущих природних явищах Кримського регіону за старих часів.

Найбільш надійне письмове свідчення про катастрофічний землетрус у Боспорському царстві датується 63 р. до н. е., який включений до сейсмологічних каталогів [29]. До кінця XX століття вчені традиційно пов'язували з цим землетрусом руйнування в городах та на поселеннях Керченського і Таманського півостровів, які були археологічно зафіксовані і датовані I ст. до н.е. Проте істинність його локалізації була поставлена під сумнів групою італійських сейсмологів під час дискусії щодо вводу в експлуатацію Кримської АЕС [37].

Першою історичною датою землетрусу в Криму, зафіксованою хоча і непрямым чином, на думку А.І. Маркевича (1928) слід вважати 480 р. н. е. Тоді на території Візантійської імперії, до складу якої входив і Крим, стався сильний землетрус. Підтвердженням цієї події він вважав Херсонеський надпис 488 року на честь «милості та щедрот» імператора Зенона потерпілому від землетрусу Херсонесу.

Про землетрус, який стався о 3 годині ночі 28 січня 1292 р. поблизу Судака відомо з одиничного запису очевидця цієї події [19]. Але жодні відомості про його руйнівну силу відсутні.

Згадка Криму у зв'язку із землетрусом 1341 р. наведена у [37] з посиланням на працю М. Мурзакевича «Історія генуезьких поселень у Криму» 1837 р. Зокрема, в останній згадується, що в 1341 р. Візантія зазнала «страшного і довготривалого» землетрусу, який досяг Криму, де море виступило з берегів і завдало шкоди [19]. Ретельний історичний аналіз привів В.В. Хапаєва до висновку, що інформація про Константинопольський землетрус 1341 р. «є наслідком невірною прочитання джерела і має бути визнана повністю недостовірною» [37, с. 93].

А.А. Ніконов (2000), на підставі історичних відомостей, вважає, що найбільш потужний землетрус поблизу Ялти стався приблизно в 1427 р. (1450 ± 50) з магнітудою $7,5 \pm 0,3$ і глибиною джерела 25 км. Вважається, що ця подія була набагато сильнішою за землетрус 1927 р.

Першість публікації про один з унікальних Кримських землетрусів, який стався 5 червня 1615 року, належить А.А. Ніконову (1986). На думку дослідника, його магнітуда склала $6,0 \pm 0,5$, бальність MSK-64 $8,0 \pm 0,5$. Осередок землетрусу знаходився під дном Чорного моря на глибині 10—20 або 30—40 км.

Згадку про низку землетрусів в Криму (1626, 1640 та 1656 pp.) В.В. Хапаєв (2006) наводить із посиланням на статтю А. Зайончковського 1969 р. «Літопис кіпчацького степу»... як джерело з історії Криму».

Інформація про кримські землетруси в наступний час міститься у повідомленнях російських та європейських мандрівників кінця XVIII — початку XIX століть. Зокрема згадується про обвал фортеці над Ялтою та скель на півдні Аю-Дагу в результаті землетрусів XV століття [37].

Відомості про природну катастрофу 1786 р. в районі кримського села Кучук-Кой наводить А.І. Маркевич (1915). Зі слів місцевих жителів під час землетрусу відбувся великий зсув, що призвів до фактичного знищення всього села з навколишніми землями. Але точну дату події встановити не вдалося. Можна припустити, що спусковим механізмом, поштовхом для виникнення зсуву, був згаданий землетрус.

Слід також зазначити, що 28 квітня 1814 р. було зафіксовано землетрус у м. Таганрог. Про наслідки землетрусу даних немає. Але в той же день біля 14 го-

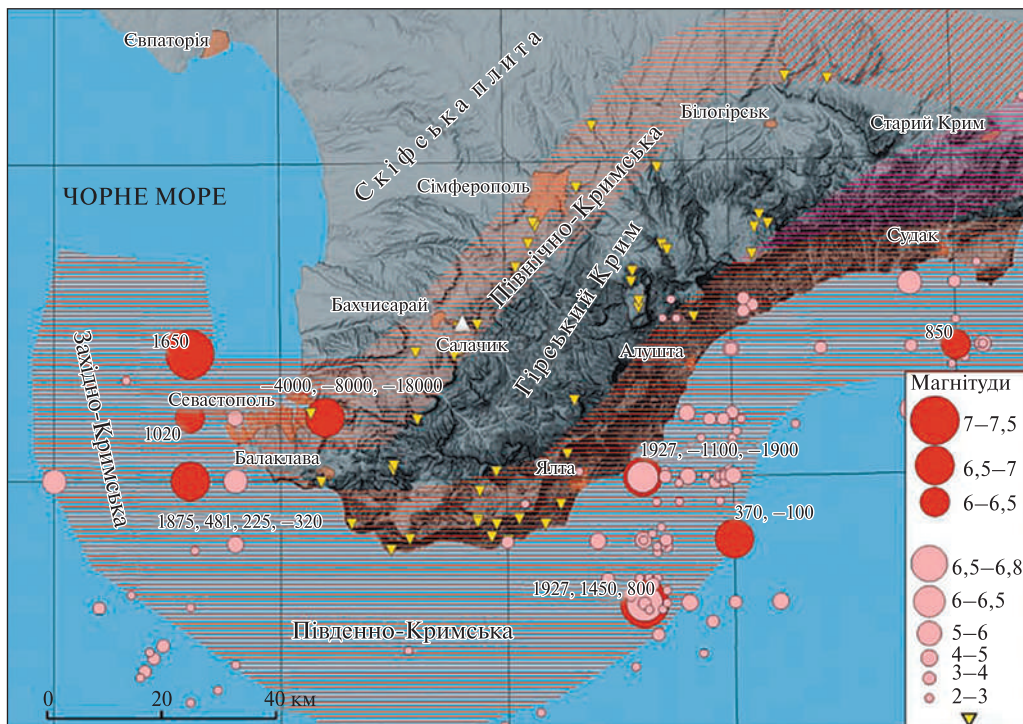


Рис. 1. Епіцентри і магнітуди землетрусів у Криму за [14], визначені за археосейсмічними і палеосейсмічними даними (червоні кола з позначенням року, знак «мінус» — до н. е., згідно [25]) та інструментальними і макросейсмічними даними на протязі IX—XX століть (рожеві кола, згідно [31, 51]). Трикутниками позначені сейсмогенні обвали за даними [3]

дини в Азовському морі поблизу Темрюка спостерігалось виверження грязьового вулкану, яке супроводжувалось появою з води полум'я і диму [19]. Остання інформація суттєва для подальшого розгляду вогняних явищ під час Ялтинських землетрусів 1927 р. Загалом у Криму з IV ст. нашої ери до сучасності відбулося 77 сильних землетрусів [31]. Але незважаючи на численність наукових публікацій, питання про роль землетрусів в історії Кримського п-ова залишається недостатньо вивченим.

Таким чином, землетруси в Криму відомі з найдавніших часів, але найбільш значні за силою та наслідками для Східної Європи у XX столітті сталися у Криму в 1927 р. (рис. 1).

Загальні відомості про Ялтинські землетруси 1927 року. Перші відомості про Ялтинські землетруси 1927 р. були детально висвітлені у збірнику статей В.А. Обручева, П.М. Никифорова, П.А. Двойченко, П.І. Голландського, А.І. Маркевича, Е.Ф. Скворцова, С.В. Шимановського, який був виданий в 1928 р. за матеріалами наукової наради за ініціативи урядової комісії по ліквідації наслідків [39]. Унікальні спостереження були опубліковані його очевидцями — А.В. Вознесенським (1927), С.П. Поповим (1928) та А.Х. Полумбом (1933).

Значна кількість зібраних архівних матеріалів наведена у наукових публікаціях, що з'явилися в пізніші роки, які не завжди підкріплені достовірною сейсмологічною інформацією, часто розрізнені та суперечливі. Найбільш змістовний детальний аналіз макросейсмічного ефекту Ялтинських землетрусів 1927 р.

виконали такі відомі кримські сейсмологи, як В.А. Корольов, В.С. Князева, В.Є. Кульчицький, О.О. Ніконов, Б.Г. Пустовітенко, Л.С. Борисенко, А.М. Скляр [3, 10, 15, 16, 20–27, 31, 32].

Зупинимось більш детально на відомих фактах, запозичених з наведених вище публікацій, пов'язаних саме з вогняними явищами під час Ялтинських землетрусів 1927 року. Вдень 26 червня 1927 р. на південному березі Криму стався землетрус. До землетрусу море залишалось зовсім тихим і спокійним, але за свідченням очевидців на воді утворився дрібний бриж і море ніби кипіло, а в затоці між Аю-Дагом і мисом Плака, приблизно за 40 метрів від берега, короткочасно спостерігалася довга смуга піни [9]. Це може свідчити про газові збурення в товщі води.

Перший сильний поштовх було зафіксовано об 13 год 21 хв, магнітуда якого становила приблизно 6,0, а руйнівна сила на узбережжі — 7 балів. Джерело землетрусу розташовувалось під дном моря, на південь від селищ Форос та Мшатка. Цей землетрус не викликав серйозних руйнувань і жертв, але виникла паніка серед відпочиваючих. Кілька людей отримали поранення, загиблих не було. Спостерігалися обвали на околицях Севастополя, у деяких будинках з'явилися тріщини, постраждали будівля пошти та одна з церков. 29 червня відбувся ще один слабший поштовх, який не завдав істотних руйнувань [9].

Землетрус 26 червня 1927 р. був форшоком наступної події, що відбулася 11 вересня 1927 р., яка була значно сильнішою і викликала справжню катастрофу [31]. Перші ознаки землетрусу стали виявлятися вже близько 8 год вечора 11 вересня. Домашні тварини помітно турбувалися та відмовлялися від корму. Коні тривожно іржали і зривалися з конов'язі, безперервно мукали корови, собаки та кішки тулилися до своїх господарів. Рибалки, що вирушили на нічний лов, чули гул на морі між Алуштою і Судаком. Незвичайне за зовсім тихої погоди хвилювання у вигляді дрібної брили, зовні схоже на «кипіння моря», змусило навіть найхоробріших повернутися на берег. Рівно опівночі по всьому узбережжю завилі собаки, потім почувся сильний гуркіт [8].

Перший поштовх, який стався вночі з 11 на 12 вересня 1927 р. о 0 год 13 хв, за інтенсивністю та тривалістю перевершив усі вищезазначені землетруси в Криму, принаймні з початку XIX століття. Осередок землетрусу знаходився під морським дном на глибині 17 км на відстані близько 20 км на південний схід від Ялти і був витягнутий уздовж узбережжя. Його інтенсивність на узбережжі оцінюється 8 балів за шкалою MSK-64, при магнітуді 6,8. У будинках лопалися шибки, відвалювалася штукатурка, тріщали підлоги і стелі, гуркотіли залізні листи на дахах, падали димові труби, люди вибігали з будинків [19].

За першим поштовхом, що тривав не більше 10 с, пішов другий. У горах гриміли обвали, море відійшло від берега і знову обрушилося на нього великою хвилею. Безперервні поштовхи, руйнування будівель, стогін поранених, масові істерики і безглузді чутки викликали незвичайну паніку. Максимальна руйнівна сила близько Великої Ялти досягла 8 балів. У Севастополі, Сімферополі та Алушті — 7 балів, у Феодосії та Євпаторії — 6 балів, у Керчі — 5 балів, у Новоросійську та Ростові — 4 бали, в Одесі та Києві — 3 бали. Значні, але не катастрофічні руйнування були у районах 7–8-бального впливу [24].

Протягом 11 годин відбулося 27 сильних поштовхів. Усього за кілька днів було зареєстровано понад 200 поштовхів. На морі під Севастополем з'явилися ве-



Рис. 2. Спеціальний випуск газети «Красний Крим», присвячений Ялтинському землетрусу 12 вересня 1927 року

личезні стовпи диму та вогонь. Земля ніби билася в лихоманці. Раз у раз виникала паніка. Сильні руйнування спостерігалися і в Сімферополі, багато сіл у передгірній та степовій частині Криму було перетворено на купи руїн. Землетрус тривав кілька днів, навіть 15 вересня ще відчувалися його поштовхи. Найбільш потужні поштовхи призвели до руйнувань будівель прибережної смуги суші від Алушти до Севастополя. В Алушті були пошкоджені готелі та Генуезька вежа, в Алушці — Воронцовський палац та мечеть. Утворилися завали на шосе біля селища Ореанда, сильно постраждало село Оповзнове, сталися обвали на г. Кішка. У районі Ялти постраждало 70 % будівель, у самому місті було пошкоджено готелі «Росія», «Ялта», житлові будинки (рис. 2) [10].

За даними С.В. Шимановського (1928), в період з 11 вересня по 31 грудня 1927 року в Ялті зафіксовано 352 афтершоки. Максимальне число поштовхів припало на 12 вересня — 41, найбільша сила ударів — між 8 и 9 балами, надалі спостерігалось поступове зниження числа ударів в їх сили. Всі міста, що потрапили 26 червня в зону 7-бальних струсів, зазнали 8-бального впливу. Про кількість загиблих та поранених є обмежені та суперечливі відомості.

Землетруси стали причиною виникнення цунамі заввишки 0,5—0,7 м [22], а за іншими даними — до 2—3 м [36]. У роботі [27] зазначається, що під час Кримських землетрусів 1927 р. виникали також поверхневі порушення земної поверхні у вигляді обвалів і каменепадів.

Вогняні явища. Ялтинський землетрус 11 вересня 1927 супроводжувався багатьма побічними явищами — моретрусом, хвилями цунамі, підводними зсувами, розвитком вогняних явищ [8; 22]. Останні представляють для нас найбільший інтерес, бо вказують на зони великої концентрації метану в осадовій товщі та шляхи руху метану.

Вогняні явища на морі були помічені за 30 км на захід від Севастополя професором П.А. Двойченком, який увечері 11 вересня прямуючи до Херсонеса побачив, що «західна частина неба була охоплена яскравим буро-оранжевим світлом, яке ефектно відсвічувало на гладкій поверхні Карантинної бухти. Наче палала пожежа, яскраве світло якої проходило через димову завісу. Відблиск від водяної поверхні був такої яскравості, що кінь кидався убік і не хотів проїхати близько до води» [8]. Він зазначає, що в момент головного поштовху тільки із Севастополя спостерігали триразовий, але короткочасний спалах білого полум'я біля горизонту моря, але внаслідок паніки його ніхто не помітив.

Під час Ялтинського землетрусу 12 вересня 1927 року вогняні явища фіксувалися протягом майже півтора місяця — вересень, жовтень. А.А. Ніконов

(2002) наводить свідчення жителів с. Нижній Керменчик, що під час землетрусу вони спостерігали вогонь червоного кольору у західному напрямку, хоч грозових хмар тоді не було. Можна зробити висновок, що вогняні спалахи мали величезні розміри, оскільки їх було видно на відстані до 60—70 км. На мисі Лукул спостерігався вогняний спалах висотою близько 500 м і шириною близько 1,8 км. Ці спалахи було видно навіть із Євпаторії.

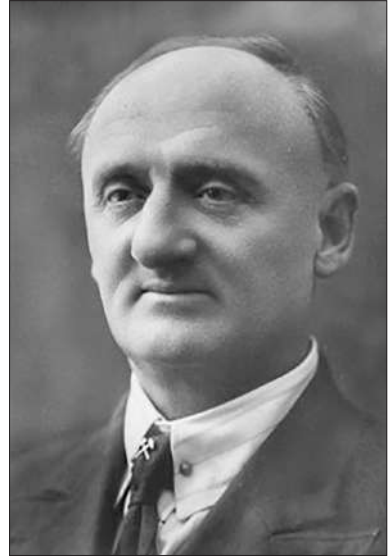
Також з розповідей очевидців з м. Феодосія відомо, що в 30 км у напрямку Анапи (тобто по інший бік від основного вогнища і також на великому віддаленні), в морі, теж були помічені вогняні стовпи [26]. Таким чином, спалахи вогню лінійно розповсюджувались в Севастопольско-Євпаторійській, Судакській зонах (умовно) та біля м. Феодосія. У першій зоні вони спостерігалися при головному землетрусі і поштовхах, що

трапились тієї ж ночі, а також додатково на початку жовтня, у другій зоні — у перших числах жовтня. Слід гадати, що спалахи вогню у виді смуг і плям над водою безумовно пов'язані з тектонічними порушеннями у результаті землетрусів, оскільки основні лінії порушень, поля газових факелів та газогідратів розташовані за межами прибережних зон. Якщо врахувати дані про локальні поштовхи в Севастопольско-Євпаторійській зоні, то очевидно, що існувала окрема осередкова зона на захід від узбережжя поблизу Севастополя, витягнута, скоріше всього, субмеридіонально.

Викиди великих мас вуглеводневих газів на захід від Севастополя описав С.П. Попов (1928). Він зазначав, що під час землетрусу з трьох маяків західного узбережжя Криму було помічено величезну вогняну смугу за 30 миль (55 км) від берега протяжністю від м. Севастополь до мису Лукул.

Мабуть, найпрофесійніше були виконані спостереження у західній частині Чорного моря службовцями з трьох маяків Криму — Костянтинівського равеліну (Севастополь), мису Лукул, Євпаторії. Вивчення архівів маяків дозволило свого часу Л.І. Мітіну уточнити послідовність подій [45]. Архівні дані показують, що спалахи були численними. П.А. Двойченко (1928) наголошує, що вогняні спалахи вже чітко фіксувалися з усіх маяків західного узбережжя Криму. Він оцінював тривалість спалахів 1—1,5 хв, висота та ширина їх приблизно сягали 500 м вгору і до 2 км завширшки. Вогонь був неясний, слабо світився і деякими визначався як хмара, що світиться.

Загалом на захід від Криму спостерігалось 16 вогняних явищ великого масштабу. Наймовірніше, з різних маяків спостерігалися різні явища. За часом, збігаються лише спостереження з мису Лукул та з Костянтинівського равеліну (Севастополь), які фіксували спалахи 12 вересня о 3 год 32 хв та о 3 год 41 хв. Відстань між маяками 50—60 км, отже, можливо, відзначені одні й ті самі вогняні явища. В інших випадках має місце розбіжності спалахів у часі, що свідчить про різні об'єкти спостереження.



Професор П.А. Двойченко



Рис. 3. Гігантський стовп вогню в Каспійському морі, 4 липня 2021 р. з берегу Азербайджану (зліва) і бурових платформ (справа)

На жаль, фактичний матеріал по вогняним явищам в морі досить недостовірний. Це стосується, насамперед, відстаней та віддаленості від берега та точок спостереження, їхньої кількості та тривалості. Враховуючи масштабність, важко розділити чи спостерігалось одне явище з різних точок чи це були локальні окремі спалахи.

Для достовірності висновків авторами було проведено порівняння з подібними явищами інших регіонів. Вибухи та палаючі гази грязьових вулканів неодноразово спостерігалися у Каспійському морі. При цьому отримували точніші дані щодо відстані і точок спостереження під час вибухів грязьових вулканів Бакинського архіпелагу в Каспійському морі. Так, в 1977 р. стовп полум'я висотою понад 500 м на вулкані Гарасу спостерігався у місті Баку на відстані близько 40—50 км [1]. Останній випадок виникнення вогняного масштабного факелу над водою було зафіксовано 4 липня 2021 р. біля берегів Азербайджану у Каспійському морі. Ймовірною причиною гігантського стовпа вогню посеред моря, що високо піднімався над горизонтом (рис. 3), стало виверження грязьового вулкана на острові Дашли, приблизно 30 км від берега (<https://twitter.com/JournalistSahab/status/1411863359373266948>).

Досить невизначеними є дані про вогняні явища у Чорному морі на південь від Криму. У різних джерелах можна знайти повідомлення про появу стовпів з білої пари. Так, 14 вересня о 17 год 23 хв за 7 км від берега проти Кучук-Коя (біля Алупки) невідомий спостерігач побачив стовп білої пари (на нашу думку метан) заввишки приблизно 200 м. Через 3—4 сек стовп розвіявся і на його місці піднявся інший. Поштовхи у цей час у Ялті не спостерігалися [22].

А.А. Ніконов (2002) відзначає вогняні явища у морі 2, 3 та 4 жовтня навпроти с. Ускут (Привітне) за 20—25 км на південний захід від Судака, але детально опис цього явища зафіксований П.А. Двойченко (1928) лише 4 жовтня 1927 р. зі слів очевидця Є. Карповича: «4 жовтня на початку 23 год серед моря, приблизно проти села Ускут, з'явилася спочатку слабка білувата смуга, яка поступово набувала все більш яскраво-червоного кольору. Близько 22 год 40 хв з боку берега помічено її потемніння у вигляді задимлення, що рухалося до центру смуги та захопило 2/3 її частини. Частина видимої смуги о 23 год 15 хв спалахнула полум'ям у вигляді стовпа вогню розміром 0,75 м², від якого відокремлювалися іскри. Яск-

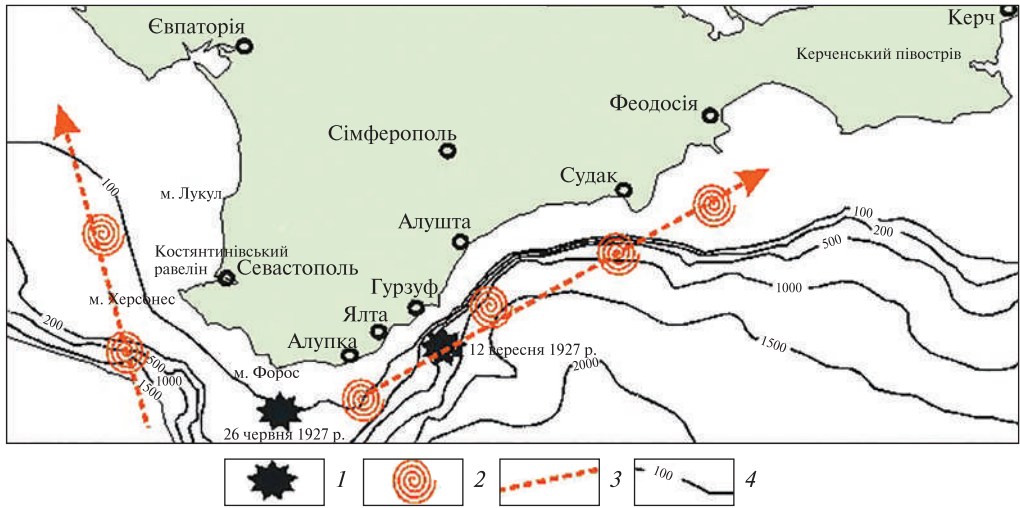


Рис. 4. Схема розташування вогняних стовпів під час Ялтинських землетрусів 1927 року: 1 — епіцентри землетрусів, 2 — орієнтовне розташування вогняних стовпів, 3 — гіпотетичні напрямки розповсюдження вогняних явищ, 4 — ізобати рельєфу дна моря

раво-червоний вогонь протримався близько 5 хв, а потім він поринув у воду, залишаючи слід, видимий на великій площі освітленої поверхні. Через кілька секунд полум'я знову швидко спалахнуло в тому ж місці і на значному просторі у вигляді великої заграви. Такі спалахи тривали понад годину. Вони мали яскраво-червоний колір, причому спалахи повторювалися дуже часто, одночасно в кількох місцях в напрямку Судака. У проміжках між спалахами тричі спостерігалися явища, що нагадують вибухи шрапнелі у повітрі, досить високо над морем. Однак спалахи були настільки сильні, що хмари світилися. У біноклі було видно язички полум'я». Як бачимо, досить докладний опис явища свідчить про реальні постійні викиди великих мас газів на значному просторі впродовж години. Виникає сумнів щодо указанного розміру одного зі спалахів — $0,75 \text{ м}^2$, так як не можливо з такою точністю оцінити спалах в морі.

Беручи до уваги наведені вище свідчення очевидців вогняних явищ під час землетрусу 12 вересня 1927 р., ми спробували схематично відобразити їх орієнтовне розташування і напрямки розповсюдження (рис. 4). На рисунку видно, що вогняні явища мають просторову і часову направленість. А саме, основні смуги спалахів вогню над водою розповсюджувалися у двох напрямках. Перша за часом Севастопольсько-Євпаторійська зона витягнута субмеридіонально і наслідє Миколаївський розлом. Друга, північно-східного напрямку, безумовно пов'язана з тектонічними порушеннями у межах Циркумчорноморської зони розломів. Цей висновок дещо полегшує трактування спалахів, оскільки основні лінії порушень, поля газових факелів та газогідратів розташовані за межами прибережних зон (рис. 5).

Масштаби вогняних явищ. Як бачимо з наведеного огляду, на захід від Криму було зареєстровано понад 16 потужних газових (вогняних) викидів. Як пише П.А. Двойченко (1928), більшість з них мала тривалість 1—1,5 хв. Але вогняне явище в жовтні, що спостерігалось біля Євпаторії, тривало більше двох годин. На південь та південний схід від Криму вогняні явища та викиди газів більш три-

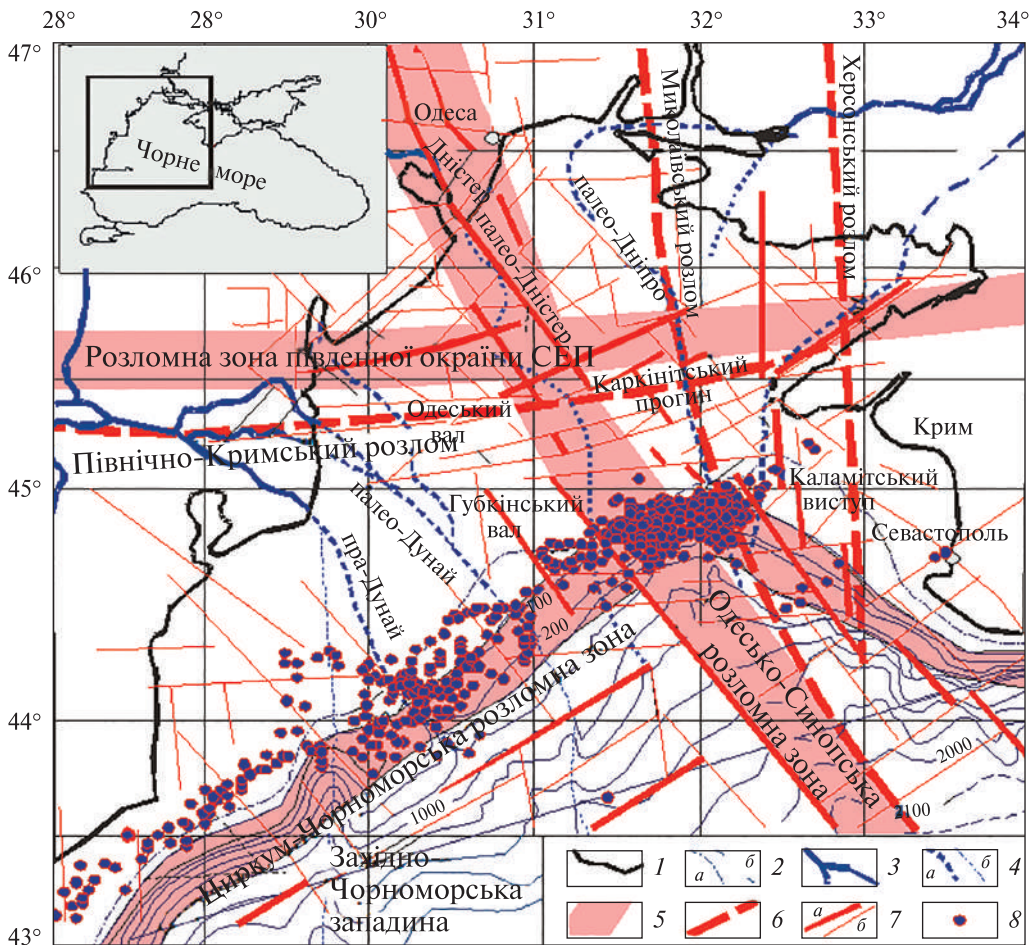


Рис. 5. Структурно-тектонічна схема північно-західної акваторії Чорного моря на тлі основних геоморфологічних елементів: 1 — берегова лінія; 2 — бровка шельфу (а), ізобати глибини моря (б); 3 — дельти річок; 4 — палеodelьти річок: встановлені (а), передбачувані (б); 5 — розломні зони мантіяного закладення; 6 — розломи консолідованого фундаменту; 7 — тектонічні порушення першого (а) і другого рангу (б); 8 — газові прояви [41]

валі. Їх було не менше 6. При цьому згоріло багато мільйонів кубічних метрів виділеного метану. Явище було грандіозним і ним не можна нехтувати. За даними П.А. Двойченко (1928) можна вважати, що мінімум 10 вогнищ мали розміри заввишки до 500 м, довжину до 2000 м і ширину близько 100 м. Загальний обсяг спалаху прирівнюється до 10 000000 м³. За довідниковими даними, спалах газової суміші (повітря і метан) відбувається при мінімальній кількості метану в повітрі не менше 16 %, вибухи — найчастіше при 9,5 % метану. Вибухи продовжувалися протягом 1—1,5 хв. Очевидно, що 1 млн м³ метану, який ймовірно сформував таке газове скупчення, згорів і розсіявся миттєво. Отже двогодинне полум'я, очевидно, весь час підживлювалося і у зв'язку з цим можна припустити, що вигоріло метану в 80 разів більше — до 80 млн м³. Таким чином, лише в західній частині згоріло щонайменше до 100 млн м³ газів! Вочевидь, усе це ймовірні розрахунки, але порядок цифр дуже показовий і свідчить про масш-

табність явища. Не меншими були енергетичні витрати на півдні та південному сході Криму.

Можливий склад газів. Склад газів оцінювався фахівцями ще у моменти спостережень. П.А. Двойченко (1928) спробував навіть розшифрувати колірні відтінки вогненних явищ. На його думку, бліде полум'я з'явилося внаслідок спалаху фосфористого водню, а потім яскраво спалахували вуглеводневі гази, як він вважав, з мулів Чорного моря. Моряки вітрильних суден, зустрінуті в районі вибуху спеціальним катером гідрографів, говорили про запах сірководню. Цей запах відчувався і на пляжі. Можна зробити висновок, що викидалися вуглеводневі гази, переважно метан з домішками сірководню, фосфористого або фтористого водню і просто водню. Роль метану є очевидною.

Нами відмічено також, що в колонці ґрунту, відібраної нами в 2002 р. поблизу місць вибухів в 1927 р., вміст сірководню був високим [6]. Разом з тим, вважаємо роль сірководню у складі плумів дещо перебільшеною.

Аналіз сейсмічності Кримського регіону. На жаль, інструментальні сейсмологічні спостереження в Криму почалися лише після руйнівних Ялтинських землетрусів 1927 р. На рис. 6 представлено розподіл осередків землетрусів у Південно-Кримській сейсмогенній смузі [7], яка базується на скоригованих параметрах землетрусів при сейсмо-томографічних побудовах. Для цієї зони характерні землетруси з епіцентрами на глибині від 15 до 33 км або >33 км з магнітудою 3–6.

У межах Кримсько-Кавказької сейсмогенної смуги особливу увагу викликають дві основні зони згрупованих вогнищ землетрусів, у яких сейсмічна активність та орієнтація поля напруги вважаються відносно однорідними. Це сейсмоактивні зони з різним характером розташування осередків землетрусів (див. рис. 6): Керченсько-Таманська, що занурюється в північному напрямку під кутом $\sim 30^\circ$, та Ялтинсько-Алуштинська, яка полого нахилена на південний схід під кутом $\sim 18^\circ$ [7]. Найбільш сейсмоактивною слід вважати Ялтинсько-Алуштинську зону, в якій в 1927 р. і відбулися розглянуті потужні землетруси ХХ століття.

Слід зазначити, що переважна більшість епіцентрів землетрусів в південній частині Чорного моря зафіксована безперервною смугою між Севастополем та Феодосією. Осередки землетрусів знаходяться переважно на відстані 10–40 км від берега і зосереджені в крутій частині континентального схилу між материковою мілиною та дном на глибинах в межах 200–2000 м. Ця межа є місцем стику ділянок земної кори, які мають протилежно спрямовані сучасні вертикальні рухи і супроводжуються землетрусами [7].

Особливості глибинної будови Південно-Кримської сейсмогенної зони. Чорноморський регіон є частиною південного Альпійського поясу, що об'єднує структури різного віку, генезису та еволюції, перебудова яких на кайнозойському етапі геологічної історії сформувала його сучасний вигляд. Характерною рисою регіону є підвищена сейсмічна активність та висока мобільність літосфери, що виявляється у диференційованому аномальному тепловому полі. Останнє свідчить про функціонування глибинних енергетичних процесів, пов'язаних із підвищеною рухливістю речовини [50]. Яскравим їх свідченням є аномальні газові прояви у вигляді сипів, факелів та фонтанів грязьових вулканів. Ці критерії можуть слугувати основою для пошуків загальних закономірностей у їхньому розподілі у зв'язку з сейсмічною активністю. Фізичну природу такого зв'язку

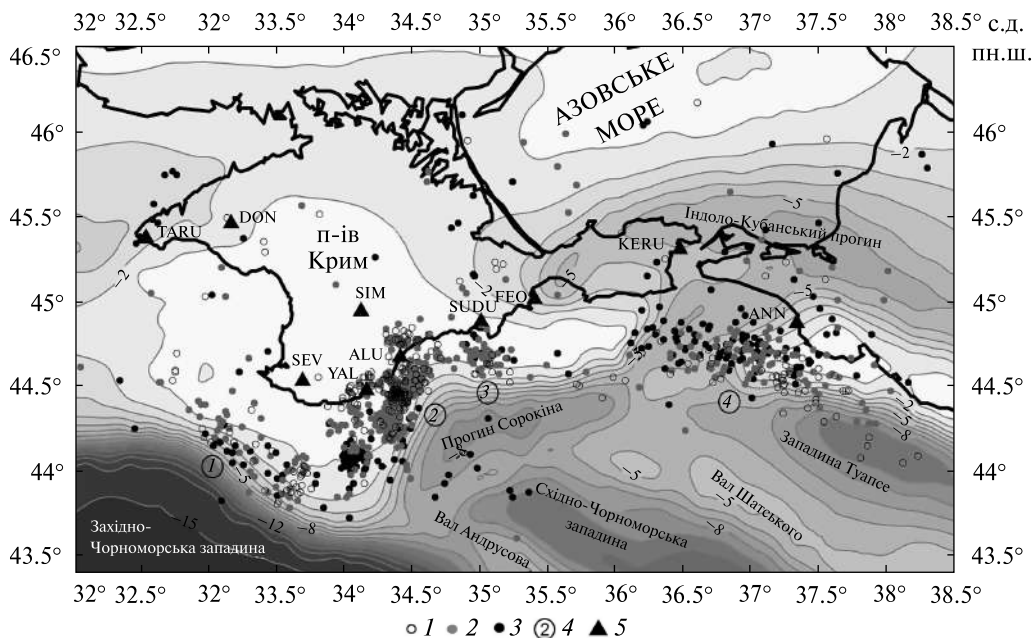


Рис. 6. Просторовий розподіл епіцентрів землетрусів і їх магнітуд Південно-Кримської сейсмогенної смуги на фоні гіпсометрії крейдового фундаменту [6]: 1–3 – епіцентри на глибині (1 – 0–15 км, 2 – 15–30 км, 3 – >30 км); 4 – зони (1 – Севастопольська, 2 – Ялтинсько-Алуштинська, 3 – Судацька, 4 – Керченсько-Таманська); 5 – сейсмічні станції: ALU – Алушта, ANN – Анапа, DON – Донузлав, FEO – Феодосія, KERU – Керч, SEV – Севастополь, SIM – Сімферополь, SUDU – Судак, TARU – Тарханкут, YAL – Ялта

можна пояснити тектонічними процесами, що виявляються у неоднорідній будові земної кори, особливо в межах зон розломів, які служать міграційними каналами для газофлюїдних потоків та чітко проявляються у розподілі аномальних газових проявів [17; 41].

Шельф і континентальний схил південного узбережжя Криму характеризуються найбільшими градієнтами занурень, зумовленими контрастними неотектонічними і сучасними тектонічними рухами. Аналіз геоморфологічних особливостей берегової лінії південного берега Криму і рельєфу морського дна на його продовженні, поряд зі ступенем горизонтальної і вертикальної розчленованості підводного рельєфу, свідчить про диференціацію неотектонічних рухів. Різнонаправлені рухи проявлялись впродовж всього неотектонічного етапу і відбуваються зараз. При цьому градієнти швидкостей новітніх занурень Чорноморської мегазападини на порядок перевищують градієнти підняття прилеглої суші. Зона найбільш високих градієнтів швидкості рухів морського дна розташована в області континентального схилу. Перехідна смуга від підняття до області занурення, включає сучасний шельф і вузьку полосу південного узбережжя Криму [46].

Ялтинські землетруси 1927 року просторово зосереджені на материковому схилі на південь від Кримського п-ова в межах Південно-Кримської сейсмоактивної зони. Границя материкової мілини та крутого схилу западини просторово збігається з глибинним розломом, у зоні якого зосереджені протилежно спрямовані сучасні вертикальні рухи. Вони йдуть нерівномірно, супроводжуються по-

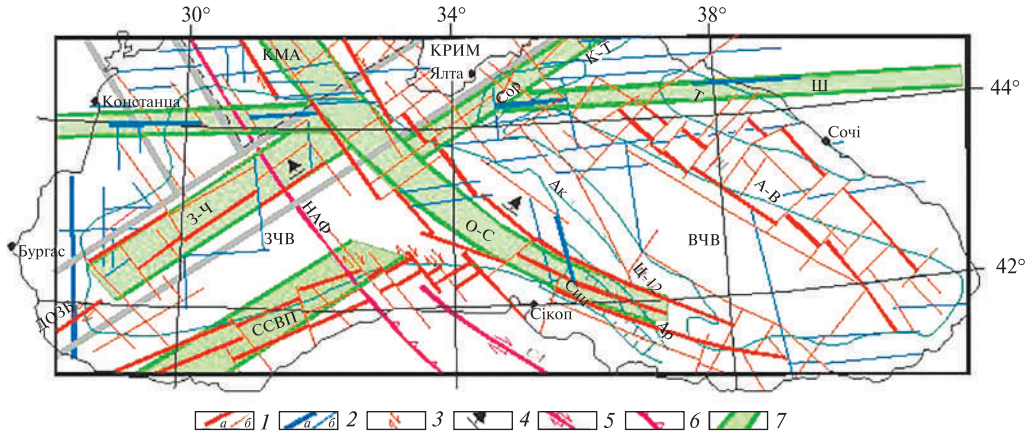


Рис. 7. Схема розломної тектоніки консолідованої кори [34]: 1 — розломи діагональної системи першого (а) і другого (б) порядку; 2 — розломи ортогональної системи першого (а) і другого (б) порядку; 3 — напрямки зсувів; 4 — напрямки падіння; 5 — Північно-Анатолійський (СА) розлом; 6 — неоальпійський фронт насувів; 7 — зони підвищених градієнтів мантіїної складової гравітаційного поля; зони розломів: О-С — Одесько-Синопська, А-Б — Алуштинсько-Батумська, З-Ч — Західно-Чорноморська, ССВП — субпаралельна сутура Внутрішніх Понтид, Ш — Широтна

штотвами, тобто землетрусами. В межах цього розлому відбуваються сучасні переміщення блоків земної кори: підйом Гірського Криму та опускання дна Чорного моря. Згідно з В.В. Юдіним та Ю.Г. Юровським (2011), вертикальна складова виражена у 3,6-кілометровому перепаді сучасного рельєфу від найвищої точки Криму — г. Роман-Кош (1545 м) до дна моря на глибині 2100 м. Зважаючи на потужність неоген-четвертинних осадів у Чорному морі, вертикальний перепад неотектонічного рельєфу досягає 10 км і більше.

Істотну роль в динаміці літосфери Чорноморського регіону грають розломи як мантіїного, так і корового закладення, які виходять далеко за межі мегазападини і розділяють великі тектонічні блоки земної кори. До них, насамперед, належить Одесько-Синопська розломна зона, яка виділяється паралельно осі Центрально-Чорноморського підняття (ЦПП) (рис. 7) на підставі підвищених градієнтів мантіїної складової гравітаційного поля [34]. Глибинні розломи, як і глибинні структури Чорноморської мегазападини, розвивалися протягом тривалого часу, а багато з них зберігають активність і в даний час, що проявляється в інтенсивній сейсмічній активності.

Раніше, ґрунтуючись на результатах сейсмічних робіт МОГТ, цю перехідну зону між глибоководною западиною та континентальним схилом на заході від Криму трактували як флексурний перегин, що не супроводжується великими порушеннями та відносними переміщеннями блоків земної кори [35]. Потім низкою дослідників [11; 38; 48] було доказано, що ця межа має явно тектонічний характер і є глибинним розломом, за яким відбулося значне зміщення фундаменту і розділу Мохо, різка зміна потужності, структури земної кори та дислокованості глибоководних осадів. Свідченням цього є результати переінтерпретації матеріалів ДСЗ за 25 профілем, які показали на південь від Кримського півострова існування високоамплітудного скиду, за яким фундамент на шельфі різко (до

8 км) занурюється [2]. Цей висновок також знайшов своє підтвердження і в результатах останніх регіональних сейсмічних досліджень МОГТ у Чорному морі [49].

На наш погляд зона переходу від континентального схилу до глибоководної западини вздовж Кримського п-ова є довгоживучою Циркумчорноморською зоною розломів, ускладненою по периметру депресією змінної ширини. Розломна зона зберігає активність і нині, що підтверджується її сейсмічністю, будовою консолідованої кори і осадовою товщі, формами рельєфу дна та ін. Про це, зокрема, побічно свідчить аномальна зосередженість в її межах газових струменевих проявів [5, 12, 13, 41].

Застосування ідеї тектоніки плит до геологічного пояснення сейсмічності Північно-Чорноморської акваторії передбачає наявність океанічної літосфери та її занурення у зоні субдукції під континентальну літосферу Криму. Зона субдукції характерна тим, що на її межі в площині ковзання океанічної та континентальної літосфери відбуваються землетруси. Таку площину називають сейсмофокальною.

Південно-Кримська сейсмогенна зона біля узбережжя Гірського Криму часто сприймається як прояв зони субдукції на північ. Якщо підсування тут відбувалося, то воно було зосереджено в корі, на локальній ділянці, що для зон Беньофа з їх лінійною протяжністю і глибинністю осередків землетрусів ніяк не характерно. В межах Альпійського складчастого поясу, де зараз відбуваються дуже активні процеси, по суті немає зон Беньофа, а є лише окремі точкові або локалізовані ділянки, які лише після низки застережень можуть бути зіставлені із цими зонами.

Таким чином, оскільки на південь від Криму немає ознак глибоководного жолоба, тилового чи міждугового басейнів, слід вважати, що справжня зона субдукції тут відсутня. Однак присутність акреційного клину дислокованих осадів, що залягають на субокеанічній корі, а також негативні аномалії сили тяжіння і значна дрібнофокусна сейсмічність, дозволила такий тип конвергенції назвати псевдосубдукцією або квазісубдукцією [47]. Зазначимо також, що багатьма вітчизняними дослідниками досі заперечуються уявлення зазначених авторів про структури потужного тангенціального стиснення, які сформовані за кайнозойської конвергенції в Кримсько-Чорноморському регіоні. В якості альтернативи є доречним виділити структури розтягнення у вигляді ендегенного Циркумчорноморського скиду або клавішного опускання блоків Криму по крутим лістричним скиданням і флексурам в Чорне море [11].

Важливою обставиною є той факт, що вздовж північного обрамлення глибоководної частини Чорного моря виявлено систему внутрішньокорових тіл основного та ультраосновного складу [33]. Тіла чітко фіксуються сейсмогравітаційним моделюванням у верхній частині граніто-гнейсового комплексу та нижній частині осадового чохла і визначають ділянки зриву кори та горизонтального переміщення.

Зазначені особливості будови структури дають змогу стверджувати, що «широкомасштабна» субдукція «океанічної» чорноморської літосфери у північному напрямку під континентальну літосферу неможлива, принаймні із середини кайнозойського часу. Причиною цього є «розігріта» чорноморська літосфера, яка за своїми фізичними властивостями не в змозі занурюватись під жорстку континентальну плиту [50].

Таким чином, геологічна ситуація на півночі Чорного моря певною мірою нагадує акреційну призму. Незважаючи на всі розбіжності тектоністів у тлумаченні (субдукція, псевдосубдукція, квазісубдукція), акреційний клин, що йде під Крим, чітко простежується. Саме тут, на південь від Криму, фіксується основний рій глибоководних грязьових вулканів у прогині Сорокіна. Активна висхідна міграція глибинних газо-флюїдних потоків формувала вище за розрізом вторинні осередки з аномально високими тисками газів — грязьові діапири. Наскрізнi глибоководні грязьові вулкани є прикладом локалізованих потоків глибинних вуглеводнів, які проходять через осадовий розріз і контролюються глибинними розломами і флексурно-скидними зонами.

Висновки

Землетруси в Криму відомі з найдавніших часів, але найбільш значні з них за силою та наслідками для Східної Європи у ХХ столітті пройшли у Криму в 1927 р.

Ялтинські землетруси 1927 р. просторово зосереджені на материковому схилі на південь від Кримського п-ова в межах Південно-Кримської сейсмоактивної зони. Границя материкової мілини та крутого схилу западини просторово збігається з Циркумчорноморською розломною зоною, у якій зосереджені протилежно спрямовані сучасні вертикальні рухи. Вони йдуть нерівномірно, супроводжуються поштовхами, що спричинюють землетруси.

Аналіз наявного геолого-геофізичного матеріалу дає змогу стверджувати, що субдукція чорноморської літосфери у північному напрямку неможлива. Натомість, геологічна структура під Кримом певною мірою нагадує акреційний клин.

Грандіозні викиди метану унаслідок Ялтинських землетрусів 1927 року супроводжувалися вогняними явищами, що були наслідком прориву потужного мантійного газо-флюїдного потоку в розущільнені зони кристалічного фундаменту вздовж тектонічних порушень різного масштабу в межах Одесько-Синопської та Циркумчорноморської розломних зон. Землетруси були тригером активізації тектонічних порушень в придонних осадових горизонтах та міграції сфокусованих глибинних газо-флюїдних потоків. Причиною вогняних спалахів слід вважати метан, що виривався із земної кори і займався під дією іскрових електричних розрядів при терті та зіткненні порід. Частково цей газ може бути газогідратним, оскільки при зміні РТ умов останні можуть дисоціювати і бути як додатковим джерелом, так і дестабілізуючим осадни чинником.

Чорне море — унікальне явище на земній кулі, так як ні в одному морі світу не встановлено такого активного газовиділення [43]. За сучасними уявленнями, метан може бути біогенної або катагенної природи. У першому випадку він генерується безпосередньо в осадовій товщі в результаті біохімічного окислення органічної речовини, а в другому має глибинну природу, мігруючи з великих глибин. Біогенна гіпотеза не обґрунтовує скупчення таких великих обсягів газу в Чорному морі.

Маємо всі підстави вважати, що мікробного метагенезу в товщі кайнозойських осадів недостатньо для забезпечення такого потужного газового розвантаження дна Чорноморської мегазападини [41]. Грандіозні газові вогняні явища під час Ялтинських землетрусів 1927 року важко задовільно пояснити без залучення глибинної складової. Вони мають просторову і часову направленість. Основні джерела вогняних спалахів в морі — Севастопольсько-Євпаторійська зона,

що просторово наслідуює Миколаївський розлом і Ялтинсько-Алуштинська, що пов'язана з Циркумчорноморською зоною розломів. Ялтинсько-Алуштинська розломна зона зберігає активність і в теперішній час, що підтверджується її сейсмічністю, будовою консолідованої кори і осадової товщі, формами рельєфу дна тощо. Побічними критеріями діючої активності може слугувати зосередженість в її межах газо-грязьових проявів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Алиев Ад.А., Гулиев И.С., Дадашев Ф.Г., Рахманов Р.Р. Атлас грязевых вулканов мира. Баку: Nafta-Press, Sandro Teti Editore, 2015. 323 с.
2. Баранова Е.П., Егорова Т.П., Омельченко В.Д. Переинтерпретация сейсмических материалов ГСЗ и гравитационное моделирование по профилям 25, 28 и 29 в Черном и Азовском морях. *Геофиз. журн.*, 2008. **30**, № 5. С. 124—144.
3. Борисенко Л.С., Пустовитенко Б.Г., Дублянский В.Н., Вахрушев Б.А., Клюкин А.А., Ена А.В., Китин М.А. Сейсмодислокации и палеосейсмичность Крыма. *Сейсмологический бюллетень Украины за 1997 год*. Симферополь, 1999. С. 101—132.
4. Вознесенский А.В. Землетрясения 1927 г. в Крыму. *Природа*. 1927. № 12. С. 357—374.
5. Газовые факелы Черного моря. ГНУ «МорГеоЭкоЦентр НАН Украины». Киев, 2021. 508 с.
6. Геологическая оценка трассы подводного кабеля связи Севастополь Затока / Довгий С.А., Шнюков Е.Ф., Старостенко В.И., Гожик П.Ф., Клещенко С.А., Маслаков Н.А., Коболев В.П. и др. Київ, 2002. 119 с.
7. Гобаренко В.С., Егорова Т.П. Сейсмотомографическая модель южного Крыма и прилегающей части Черного моря. *Вулканология и сейсмология*. 2020. № 3. С. 56—73.
8. Двойченко П.А. Черноморские землетрясения 1927 года в Крыму. *Природа*. 1928. № 6. С. 523—541.
9. Двойченко П.А. Черноморское землетрясение 1927 г. в Крыму (Предварительное сообщение). *Черноморские землетрясения 1927 г. и судьбы Крыма*. Симферополь: Крымгосиздат, 1928. С. 77—98.
10. Князева В.С. Архивные материалы по макросейсмическому обследованию Крымского землетрясения 11 сентября 1927 г. *Сейсмологический бюллетень Украины за 1997 г.* Симферополь, 1999. С. 88—100.
11. Коболев В.П. Геодинамическая модель Черноморской мегавпадины. *Геофиз. журнал*. 2003. № 2. С. 15—35.
12. Коболев В.П. Плюм-тектонический аспект рифтогенеза и эволюции мегавпадины Черного моря. *Геол. и полезн. ископ. Мирового океана*. 2016. № 2. С. 16—36.
13. Коболев В.П. Структурно-тектонические и флюидо-динамические аспекты глубинной дегазации мегавпадины Черного моря. *Mining of Mineral Deposits*. 2017. **11**, № 1. С. 31—49.
14. Корженков А.М., Моисеев Д.А., Овсяченко А.Н., Ларьков А.С., Мараханов А.В., Рогожин Е.А., Эмруллаев Ш.А. Археосейсмологические исследования в древней столице крымских ханов — Салачике. *Вопросы инженерной сейсмологии*, 2016. **43**. № 3. С. 30—47.
15. Королев В.А., Скляр А.М., Князева В.С. Новые макросейсмические данные по Крымскому землетрясению 11 сентября 1927 года. *Проблемы сейсмобезопасности Крыма*. Севастополь, 1995. С. 30—33.
16. Кульчицкий В.Е., Пустовитенко Б.Г. Проблема изучения древней сейсмичности Крыма. Проблемы сейсмобезопасности Крыма. Крымское отделение НАН Украины, КЭС ОСОПЗ при правительстве Республики Крым. Севастополь, 1995. С. 25—29.
17. Кутас Р.И. Геотектонические и геотермические условия зон флюидной и газовой разгрузки в Черном море. *Геофиз. Журнал*. 2020. **42**. № 5. С. 16—52.
18. Маркевич А.И. К появлению оползней Яйлы близ дер. Кучук-Кой, Ялтинского уезда, в марте 1915 года (архивная справка). Симферополь: ИТУАК. 1915. №52. С. 254—259.
19. Маркевич А.И. Летопись землетрясений в Крыму. *Черноморские землетрясения 1927 г. и судьбы Крыма*. Симферополь: Крымгосиздат, 1928. С. 64—73.
20. Никонов А.А. Землетрясения XVII века в Восточном Крыму. *Известия АН СССР. Физика Земли*. 1986. № 6. С. 79—85.

21. Никонов А.А. Крымские землетрясения 1927 г. — уточненные решения макросейсмического поля и механизма очагов. Сборник материалов международной научной конференции «Уроки и следствия сильных землетрясений (к 80-летию разрушительных землетрясений в Крыму)». Симферополь, 2007. С. 13—15.
22. Никонов А.А. Крымские землетрясения 1927 года: неизвестные явления на море. *Природа*. 2002. № 9. С. 13—20.
23. Никонов А.А. О биопредвестниках Крымского землетрясения 1927 г. *Докл. АН СССР*. 1994. **334**, № 2. С. 215—217.
24. Никонов А.А. Раненый Крым. По следам разрушений крупнейшего на полуострове в XX веке природного бедствия. Крымский альбом. 2002: Историко-краеведческий и литературно-художественный альманах. Москва: ИД «Коктебель», 2003. С. 72—111.
25. Никонов А.А. Сейсмический потенциал Крымского региона: сравнение региональных карт и параметров выявленных событий. *Физика Земли*. 2000. № 7. С. 53—62.
26. Никонов А.А. Уточненные решения макросейсмического поля и механизма очагов Крымских землетрясений 1927 г. *Геофизические исследования*. 2012. **13**. № 1. С. 50—78.
27. Никонов А.А., Сергеев А.П. Сейсмогравитационные нарушения в Крыму при землетрясении 1927 года. Проблемы сейсмобезопасности Крыма. Крымское отделение НАН Украины, КЭС ОСОПЗ при правительстве Республики Крым. Севастополь, 1995. С. 34—35.
28. Полумб А.Х. Очерк крымских землетрясений. Симферополь: Государственное издательство КрымАССР, 1933. 80 с.
29. Попов Г.И. Землетрясения Крыма и территорий, прилегающих к Черному морю. Недра. Ч. I. гл. «Крым». Москва, 1969. С. 447—459.
30. Попов С.П. Грязевые вулканы. *Природа*. 1928. №6. С. 541—554.
31. Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е., Горячун А.В. Землетрясения Крымско-Черноморского региона. Київ. 1989. С. 42—55.
32. Скляр А.М., Князева В.С., Королев В.А. Макросейсмический эффект землетрясений 26 июня и 11 сентября 1927 г. в Крыму. *Сейсмологический бюллетень Украины за 1998 г.* Симферополь, 2000. С. 90—119.
33. Старостенко В.И., Коболев В.П., Кутас Р.И., Русаков О.М. Геофизическое изучение Черноморской впадины: некоторые результаты и перспективы. *Геологические проблемы Черного моря*. Киев, 2001. С. 99—112.
34. Старостенко В.И., Макаренко И.Б., Русаков О.М. и др. Геофизические неоднородности мегавпадины литосферы Черного моря. *Геофиз. журн.* 2010. **32**, № 5. С. 3—20.
35. Туголосов Д.А., Горшков А.С., Мейснер Л.Б. и др. Тектоника мезокайнозойских отложений Черноморской впадины. Москва: Недра, 1985 а. 215 с.
36. Фашук Д. Цунами — не только в океане. *Наука и жизнь*. 2005. № 3. URL: <http://www.nkj.ru/archive/articles/873/print/>
37. Хапаев В.В. Крымские землетрясения древности и средневековья: к истории вопроса. *Материалы по археологии и истории античного и средневекового Крыма*. Вып. I. 2006. С. 89—116.
38. Чекунов А.В. Рифтогенез и механизм формирования Черноморской впадины. *Докл. АН УССР*. Сер. Б. 1987. № 2. С. 25—28.
39. Черноморские землетрясения 1927 г. и судьбы Крыма. Симферополь: Крымгосиздат, 1928. 113 с. URL: <http://ru.wikipedia.org>.
40. Шимановский С.В. Сообщение о крымском землетрясении 12 сентября 1927 года. *Черноморские землетрясения 1927 г. и судьбы Крыма*. Симферополь: Крымгосиздат, 1928. С. 43—49.
41. Шнюков Е.Ф., Коболев В.П. О глубинной природе дегазации дна Черного моря. *Геотехнологии*. 2018. № 1. С. 1—11.
42. Шнюков Е.Ф., Коболев В.П. Слепые грязевые вулканы Черного моря. *Геол. и полезн. ископ. Мирового океана*. 2020. **17**, № 2: 49—65. URL: <https://doi.org/10.15407/gpimo2020.02.049>
43. Шнюков Е.Ф., Коболев В.П. Струйные газовыделения дна Черного моря — уникальный средообразующий, экологический и ресурсный феномен. *Геол. и полезн. ископ. Мирового океана*, 2013. № 3. С. 134—140.
44. Шнюков Е.Ф., Коболев В.П., Гошовский С.В. Дорожная карта освоения Черноморских газогидратов метана в Украине. *Геол. и полезн. ископ. Мирового океана*. 2018. № 3. С. 5—21.

45. Шнюков Е.Ф., Митин Л.И., Цемко В.П. Катастрофы в Чёрном море. Киев: Манускрипт, 1994. 297 с.
46. Шнюков Е.Ф., Пасынков А.А. Шнюкова Е.Е. и др. Геоморфология Форосского выступа черноморской окраины Крыма. *Геол. и полезн. ископ. Мирового океана*. 2010. **21**. № 4. С. 15–29.
47. Юдин В.В., Юровский Ю.Г. Неогеодинамика Крымско-Черноморского региона. *Строительство и техногенная безопасность*. 2011. **35**. С. 50–56.
48. Banks C.J., Robinson A. Mesozoic strike-slip back-arc basins of the western Black Sea region. In: *Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region* (ed. Robinson A.G.). AAPG Memoir. 1997. **68**. P. 53–62.
49. Graham R., Kaymakci N., Horn B.W. Revealing the Mysteries of the Black Sea. The Black Sea: something different? *GEO ExPro Magazine*, October. 2013. P. 58–62.
50. Kutas R.I., Kobolev V.P., Tsvyashchenko V.A. Heat flow and geothermal model of Black Sea Depression. *Tectonophysics*. 1998. **291**. P. 91–100.
51. Shebalin N.V., Leydecker G. Earthquake catalogue for the former Soviet Union and borders up to 1988. Luxembourg: Office for off. publ. of the EC, 1997. 135 p.

Стаття надійшла 18.10.2021.

Ye.F. Shnyukov, Acad. of NAS of Ukraine, Dr. Sci. (Geol. & Mineral.)
Prof., Advisor to the Directorate
«MorGeoEkoCenter» of NAS of Ukraine,
Kyiv, 55-b, O. Honchara str., Kyiv, Ukraine, 01054
E-mail: eshnyukov@gmail.com
ORCID 0000-0003-1173-2576

V.P. Kobolev, NAS Corresponding Member, Dr. Sci. (Geol. & Mineral.), Prof., Chief Researcher
IGP by S.I. Subbotin of the NAS of Ukraine
03142, Kyiv, 32 Palladina Ave.
E-mail: kobil@igph.kiev.ua
ORCID 0000-0001-5625-5473

FIRE GAS PLUMES DURING THE 1927 YALTA EARTHQUAKES

In the Black Sea near Yalta in 1927 there were massive methane outbursts, accompanied by flames over the water. The fire was associated with methane emissions that entered through tectonic faults. The faults were caused by seismic movements. The article analyses the depth structure of the focal zones and the nature of the seismic process and assesses the nature of the manifestations of the fires.

The main factor is thought to be methane, which rises from the earth's crust during earthquakes. The electric spark discharges generated by friction and collision of the earth's crust ignited methane gas. The massive gas emissions of millions of cubic meters that can be called gas plumes have been fixed. The spatial and temporal direction of the fire phenomena has been established. The main fire outbreaks over the water extended in two directions. The first, the Sevastopol-Evpatoria zone, stretches submeridionally to the coast and follows the Mykolayiv fault system. The second one is the Yalta-Alushta zone with north-eastern extension. It is associated with tectonic faults within the Circum-Black Sea region, fault zone. This fault zone is active even at present, as indicated by seismicity, the structure of the consolidated crust and sedimentary strata, bottom topography forms, etc.

Analysis of geological and geophysical materials, and seismicity of the northern Black Sea region, indicate that the fire events during the Yalta earthquakes in 1927 were caused by massive methane ejections as a result of a powerful mantle gas-fluid flow into the dissolved zones of the crystalline basement along the tectonic faults of different scales within the Odessa-Sinop and Circum Black Sea fault zones. Earthquakes triggered the activation of tectonic faults in benthic sedimentary horizons for the migration of focused deep-seated gas-fluid streams.

Keywords: gas plumes, gas emissions, fault zones, Black Sea, earthquakes.