

# Грязьовий вулканізм

## Mud vulcanism

---

<https://doi.org/10.15407/gpimo2021.01.057>

**В.А. Нестеровський**, професор, доктор геол. наук, професор кафедри геології нафти і газу

КНУ імені Тараса Шевченка  
03022, Київ, вул. Васильківська, 90  
E-mail: v.nesterovski@ukr.net  
ORCID 0000-0002-7065-8962

**Н.О. Грищенко**, канд. геол. наук, науковий співробітник

ДНУ «МорГеоЕкоЦентр НАН України»  
01054, Київ, вул. Олеся Гончара, 55б  
E-mail: tno25@ukr.net

**М.А. Деяк**, канд. геол. наук, старший науковий співробітник

ДНУ «МорГеоЕкоЦентр НАН України»  
01054, Київ, вул. Олеся Гончара, 55б  
E-mail: nauk@ukr.net  
ORCID 0000-0002-9330-2766

## ГЕНЕТИЧНА МОДЕЛЬ ГРЯЗЬОВОГО ВУЛКАНІЗМУ КЕРЧЕНСЬКОГО ПІВОСТРОВА (НАУКОВІ ТА ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ)

---

*Представлено результати багаторічних досліджень і спостережень за грязьовими вулканами Керченського півострова. Увага приділена виділенню найбільш важливих чинників й аспектів, які пов'язані з виникненням, діяльністю грязьових вулканів і їх впливом на геологічну історію цього регіону.*

*Грязьові вулкани Керченського півострова є унікальним полігоном для спостереження за процесами сучасного мінералоутворення, динаміки глибоких процесів та сейсмічної активності регіону. На Керченському півострові та прилеглий частині акваторії встановлено близько 50 викопних і сучасних грязьових вулканів. Їх діяльність узгоджується з фазами активізації альпійського тектогенезу Кримсько-Кавказького сегменту та носить переривчасто-імпульсивний характер.*

*В геологічній історії півострова чітко фіксується чотири основні сплески грязьовулканічної активності: в верхньому майкопі, чокрак-карагані, сарматі та кімерії. Найбільша його активність проявлена наприкінці міоцену — початку пліоцену. У теперішній час фіксується новий сплеск активності грязьових вулканів. Сприятливими чинниками розвитку грязьових вулканів у межах півострова є: наявність потужної товщі пластичних глинистих порід, збагачених водно-газовими флюїдами, широкий розвиток брахіантиклінальних складок в неогеновому структурному поверху та сітка глибоких розломів й розривних порушень.*

*З діяльністю грязьових вулканів пов'язане утворення специфічних компенсаційних структур — вдавнених синкліналей, які на Керченському півострові набули широкого розвитку. Останні, за-*

---

Цитування: Нестеровський В.А., Грищенко Н.О., Деяк М.А. Генетична модель грязьового вулканізму Керченського півострова (наукові та прикладні аспекти). *Геологія і корисні копалини Світового океану*. 2021. 17, № 1: 57—74. <https://doi.org/10.15407/gpimo2021.01.057>

лежно від палеогеографічних умов (море, суходіл) та структурного положення вулканів в антикліналях, мають різну специфіку будови і заповнення. З деякими вдавненими синкліналями пов'язані родовища залізних руд, які відрізняються значною потужністю, структурно-текстурними особливостями та речовинним складом.

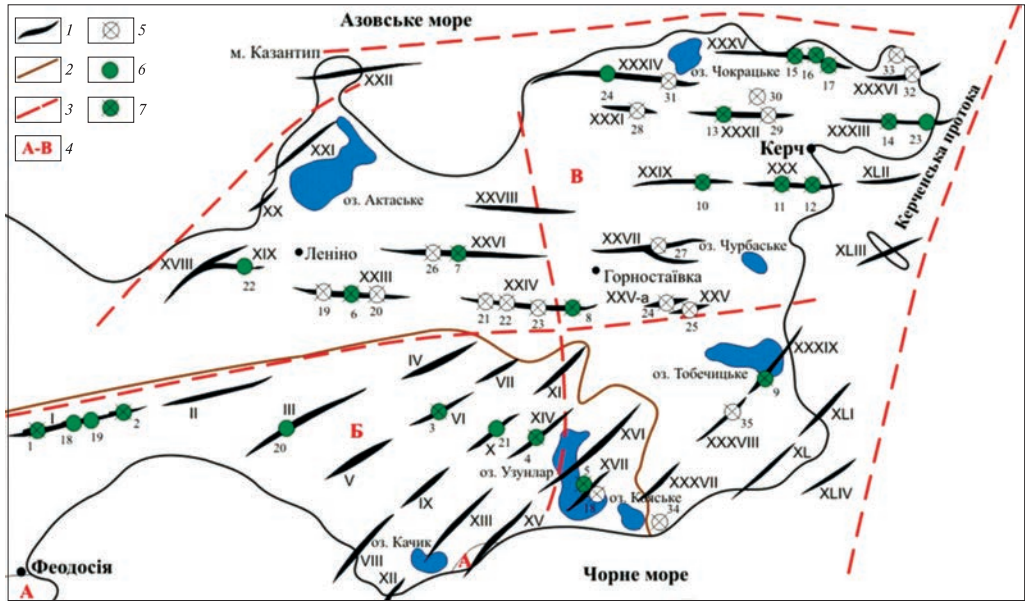
В продуктах грязьового вулканізму — сопкових газах, сопкових водах, сопкових брекчіях встановлені компоненти гідротермального та екзогенного походження, що вказує на генетичний зв'язок цього явища з глибинними та приповерхневими процесами. Крім цього в продуктах виверження вулканів часто фіксуються рідкі, тверді та газоподібні вуглеводні. Останні є критерієм для пошуку нафти і газу на глибині.

**Ключові слова:** Керченський півострів, грязьові вулкани, вдавнені синклінали, сучасний мінералогенез, сопкові відклади.

Грязьовий вулканізм є досить поширеним природним явищем на Землі. Його діяльність зафіксована в багатьох регіонах та країнах світу: Північна Америка (США, Канада, Мексика); Південна Америка (Нікарагуа, Коста-Ріка, Панама, Венесуела, Колумбія, Тринідад, Малі Антильські острови, Барбадос, Еквадор, Перу); Африка (Нігерія, Намібія, Папуа Нова Гвінея, Єгипет, ПАР), Європа (Італія, Албанія, Румунія, Україна); Азія (Грузія, Азербайджан, Туркменістан, Росія — Камчатка, Сахалін, Курильські острови, Індія, М'янма, Японія, Китай, Іран, Пакистан, Бруней, Індонезія, Філіппіни, Малайзія.); Океанія (Нова Зеландія); Антарктида (Антарктичний півострів) [3]. Прояви сучасного грязьового вулканізму — це перш за все регіони альпійської складчастості та нафтогазоносні басейни. В цьому аспекті Керченський півострів є класичним прикладом розвитку грязьового вулканізму у сприятливому поєднанні геотектонічного, структурного і літологічного чинників.

Дослідження всіх складових грязьового вулканізму дозволяє більш обґрунтовано підійти до його генезису та повноцінно з'ясувати наукові і практичні аспекти, пов'язані з цим природним феноменом. Багаторічними дослідженнями грязьових вулканів Керченсько-Таманського регіону [1, 2, 4, 7, 10, 14, 19, 21, 25, 27, 28] було встановлено, що вони виникають лише в певному геологічному середовищі, основними параметрами якого є: сприятлива тектонічна обстановка, наявність діапірових структур, присутність потужної товщі пластичних глинистих порід, які збагачені водно-газовими флюїдами. Поява в надрах водно-газових флюїдів з аномально високими тисками на території Керченського півострова пов'язана з особливостями літолого-мінералогічного складу осадової товщі олігоцен-міоценового віку (майкопська серія), процесами вуглеводневої генерації та літостатичним тиском.

Майкопські глини — пластичні, в різній мірі піщаністі безкарбонатні або слабокарбонатні, монотонні тонкошаруваті породи, інтенсивно зім'яті в складки. При обводненні стають текучими і здатні до перетікання в умовах підвищених тисків. В межах Керченського півострова ці відклади мають значну потужність (4—4,5 км) і в багатьох місцях фрагментами розрізу виходять на денну поверхню. Глини майкопської серії приймають участь в формуванні глинистих діапірів півострова та прилеглих акваторій Чорного та Азовського морів. В цілому ж комплекс майкопських відкладів регіону можна представити, як чергування глинистих і алеврито-піщаних фацій, які в різних частинах розрізу мають різне співвідношення. Але в загальному об'ємі глинисті фації переважають [18]. Глиниста



**Рис. 1.** Схема розташування антиклінальних структур та грязьових вулканів на Керченському півострові (побудована за даними [28] з доповненнями авторів): 1 — антиклінальні складки; 2 — Парпацький гребінь; 3 — глибинні розломи; 4 — основні структури півострова; 5 — вдавнені синкліналі; 6 — грязьові вулкани; 7 — грязьові вулкани з вдавненими синкліналями.

*Основні структури Керченського півострова:* А — мегаантиклінорії Гірського Криму; Б — Південно-Західна рівнина; В — Позапарпацька область.

*Грязьові вулкани:* 1 — Владиславівський; 2 — Арма-Елі; 3 — Джау-Тепе; 4 — Ак-Тубе; 5 — Кончек; 6 — Королівський; 7 — Бурулькайський; 8 — Новоселівський; 9 — Чонгелекський; 10 — Андріївський; 11 — Восходівський (Джарджава); 12 — Солдатсько-Слобідський; 13 — Бураський; 14 — Баксинський; 15 — Велико-Тарханський; 16 — Мало-Тарханський; 17 — Булганацький; 18 — Хирциз-Шибан західний; 19 — Хирциз-Шибан східний; 20 — Керлеутський; 21 — Борух-Оба; 22 — Насирський; 23 — Єнікальський; 24 — Сююртаський.

*Вдавнені синкліналі:* 1 — Ачинська; 2 — Арма-Елінська; 3 — Джау-Тепе; 4 — Ак-Тубе; 5 — Кончекська; 6 — Королівська; 7 — Бурулькайська; 8 — Новоселівська; 9 — Чонгелекська; 10 — Андріївська; 11 — Восходівська (Джарджава); 12 — Солдатсько-Слобідська; 13 — Бураська; 14 — Баксинська; 15 — Велико-Тарханська; 16 — Мало-Тарханська; 17 — Булганацька; 18 — Узунларська; 19 — Ільїчівська; 20 — Кенегезська; 21 — Західно-Кара-Сиджеутська; 22 — Східно-Кара-Сиджеутська; 23 — Каяли-Сартська; 24 — Реп'ївська; 25 — Соколівська; 26 — Кашикська; 27 — Горностаївська; 28 — Чумної балки; 29 — Мало-Бабчикська; 30 — Кезенська; 31 — Чокрацька; 32 — Борзовська; 33 — Осовинська; 34 — Опукська; 35 — Чорелекська.

*Антиклінальні складки:* I — Арма-Елінська; II — Андріївська; III — Мошкарівська; IV — Селезнівська; V — Ульянівська; VI — Вулканівська; VII — Східна; VIII — Білобородська; IX — Гавриленківська; X — Краснопільська; XI — Марфівська; XII — Чаудинська; XIII — Дюрменська; XIV — Садова; XV — Карангатаська; XVI — Марівська; XVII — Узунларська; XVIII — Каменська; XIX — Насирська; XX — Краснокутська; XXI — Блокаменська; XXII — Мисова; XXIII — Королівська; XXIV — Сартська; XXV — Соکیلська; XXVI — Репівська; XXVII — Слюсарівська; XXVIII — Горностаївська; XXIX — Ново-Миколаївська; XXX — Восходівська; XXXI — Чумна балка; XXXII — Мало-Бабчинська; XXXIII — Глазівська; XXXIV — Караларська; XXXV — Булганацька; XXXVI — Борзовська; XXXVII — Опукська; XXXVIII — Погранична; XXXIX — Приозерна; XL — Яковенківська; XLI — Кореньківська; XLII–XLIV — антикліналі в Керченській протоці

фракція за мінеральним складом в основній масі однотипна і представлена, головним чином, змішано-шаруватими мінералами гідролудисто-монтморилонітового ряду з незначними домішками кварцу, каолініту, кальциту, сидериту.

Занурення структур, збагачених флюїдами, на значні глибини та збільшення літостатичного тиску спричиняє його перерозподіл та рух водо-газонасичених флюїдів по ослаблених зонах догори у склепінні ділянки брахіантикліналей. Схема розташування грязьових вулканів на Керченському півострові наведена на рис. 1.

Рух флюїдів разом з глиною здійснюється по тріщинах або розривних порушеннях. На своєму шляху ця водно-газово-глиниста суміш захоплює зі стінок тріщин бокові породи по розрізу, їх частково обкатає, дезінтегрує і вже на поверхні ми спостерігаємо сумарну породу — сопкову брекчію. Остання може мати різну розмірність уламків та різну ступінь насичення флюїдами. При зменшенні тиску в надрах рух флюїдів уповільнюється або навіть припиняється. Повнення руху по еруптивному каналу може відновитись з наступним імпульсом збільшення пластового тиску газів.

Грязьові вулкани щоденно викидають на денну поверхню величезну кількість твердих, рідких та газоподібних продуктів виверження. Продукти виверження різноманітні за складом та віком, оскільки формуються на різних глибинах і в цілому відображають особливості речовинного складу певних стратиграфічних горизонтів та процеси, що в них відбуваються. Найбільша кількість продуктів виверження надходить в періоди активізації грязьовулканічної діяльності. Тверді продукти грязьовулканічної діяльності накопичуються біля кратерів вулканів та у зниженнях рельєфу, утворюючи потужні сопкові поля. Встановлено поховані та сучасні сопкові поля навколо грязьовулканічних структур. Сучасні сопкові поля створюють специфічний «місячний» ландшафт біля грязьових вулканів, оскільки рослинний покрив на них майже відсутній. Тимчасовими водотоками на схилах сопкових полів часто утворюються рівчаки та конуси виносів.

За нашими розрахунками, що проводилися для сучасних сопкових відкладів Джау-Тепенського та Булганацького грязьових вулканів, основна маса (96—98 %) твердих продуктів виверження належить до алевритової та глинистої фракції. Вміст фракцій >0,1 мм становить 2—4 %, з яких на частку піщаної фракції припадає 0,64—1,29 %, гравійної — 0,87—1,63 % та на фракції понад 10 мм 0,5—1,08 %. Грубоуламковий матеріал твердих викидів належить різновіковим осадовим породам, що в стратиграфічній шкалі відповідають крейдяним, палеогеновим та неогеновим відкладам [16—18].

Серед них встановлено такі породи як пісковики, алевроліти, вапняки, аргіліти, мергелі, залізні руди, глинисто-карбонатні конкреції (глинисті сидерити), уламки кальциту, піриту, а також специфічні глинисто-карбонатні породи з текстурою *cone in cone* [13, 16—18].

В розрізах багатьох вдавнених синкліналей Керченського півострова були встановлені тверді бітуми. Вони приурочені в більшості до відкладів олігоцен-еоцену, чокраку, сармату. Бітуми зустрічаються як в піщаних так і карбонатних фаціях. В окремих випадках в порожнинах карбонатних порід були зафіксовані рідкі вуглеводні.

Якісно-кількісний склад уламків для різних грязьових вулканів півострова відрізняється і залежить від особливостей розташування їх в межах структур та

особливостей грязевулканічного процесу в часі. Більшість уламкового матеріалу зверху вкрито тонкою окисненою кіркою коричневого «загару», що робить їх подібними один до одного і ускладнює точну діагностику. Цим також пояснюються і типові помилки в деяких попередніх визначеннях, зроблених при візуальних спостереженнях.

В твердих продуктах грязьових вулканів Керченського півострова встановлено понад 100 мінералів. Переважна більшість з них є алотигенними і були успадковані від порід, що зазнали механічну руйнацію при грязевулканічному процесі. Ці мінерали складають консолідовані тверді викиди або знаходяться у теригенній частині сопкових глин та брекчій. До таких мінералів впевнено можна віднести кварц, халцедон, рутил, анатаз, брукіт, ільменіт, хроміт, магнетит, гематит, псиломелан, гранат, циркон, сфен, дистен, андалузит, ставроліт, топаз, епідот, турмалін, рогову обманку, плагіоклази, калій-польові шпати, мусковіт, монацит, апатит тощо.

Проте особливої уваги заслуговують мінерали, які в тій чи іншій мірі генетично пов'язані саме з грязевулканічним процесом. Це насамперед стосується сульфідів, боратів, карбонатів, сульфатів, фосфатів, арсенатів, нітратів, галоїдів та ін. Крім цього останнім часом у складі сопкового матеріалу встановлені самородні мінерали: залізо, нікель, золото, золото мідисте, мідь, срібло, свинець, цинк, платиноїди, залізисто-неодимові сполуки, сполуки заліза, церію та лантану, сполуки лантану, неодиму та заліза, графіт, сірка тощо. Несподіваними є знахідки в сопкових глинах карбідів — когеніту та муасаніту [20]. Грязевулканічна природа також встановлена для деяких хлоритів, гідролюд та глауконіту.

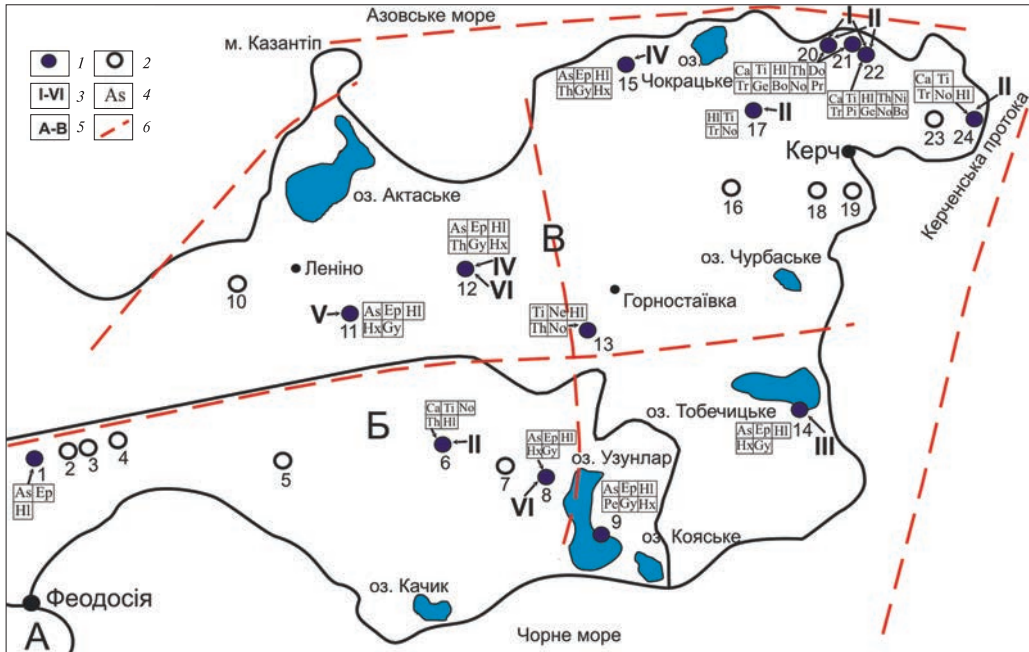
Сопкові води грязьових вулканів Керченського півострова за хімічним складом досить різноманітні і багатокомпонентні. За катіонно-аніонним складом серед них виділено 6 основних типів: 1 — хлоридно-гідрокарбонатно-натрієвий; 2 — гідрокарбонатно-хлоридно-натрієвий; 3 — хлоридно-карбонатно-натрієвий; 4 — сульфатно-хлоридно-натрієвий; 5 — хлоридно-гідрокарбонатно-сульфатно-натрієвий; 6 — хлоридно-натрієвий [27, 28].

Найбільш розповсюдженим є хлоридно-гідрокарбонатно-натрієвий і гідрокарбонатно-хлоридно-натрієвий типи. Вони характерні для 85—90 % сопкових вод всієї Керченсько-Таманської області.

За ступенем мінералізації сопкові води грязьових вулканів Керченського півострова в цілому можна віднести до слабомінералізованих. Їх мінералізація коливається в межах від 2,4 до 25 г/дм<sup>3</sup>. Виключенням є сопка Центральне Озеро (Булганацький вулкан) де мінералізація досягає 47 г/дм<sup>3</sup>. Водневий показник (рН) змінюється від 6,9 (Чонгелек) до 8,5 (Сююртаський).

Спектральним методом в сопкових водах встановлено присутність Mn, Ni, Co, Ti, V, Cr, Mo, Zr, Cu, Pb, Ag, Zn, Sn, Ga, La, Be, Sb, Ge. В водах Тарханського і Булганацького вулканів встановлено ртуть з концентраціями від 0,0016 до 0,0045 мг/дм<sup>3</sup>. Вміст стабільних ізотопів в сопкових водах цих вулканів варіює від 2,6 до 11,4 ‰ для  $\sigma^{18}\text{O}$  і від 29,1 до 20,0 ‰ для  $\sigma\text{D}$  [6].

Всі сопкові води грязьових вулканів Керченського півострова в тій чи іншій мірі містять бор. Вміст  $\text{B}_2\text{O}_3$  на різних сопкових полях не однаковий і коливається в межах від слідів до 0,3 ‰. Максимальний вміст бору реєструється у сопкових водах Булганацького грязьового вулкану, де він досягає 3—4 г/дм<sup>3</sup>. Високі концентрації бору сприяють накопиченню люнебургіту, тинкалконіту, керніту, бури,



**Рис. 2.** Типи сопкових вод та асоціації сезонних мінералів грязьових вулканів Керченського півострова: 1 — грязьові вулкани де відбувається сучасне водно-хемогенне мінералоутворення, 2 — грязьові вулкани без проявлення сучасного водно-хемогенного мінералоутворення, 3 — типи сопкових вод, 4 — сезонні мінерали; 5 — основні структури Керченського півострова, 6 — глибинні розломи. Цифрами на схемі вказані грязьові вулкани: 1 — Владиславівський; 2 — Хирциз-Шибан західний; 3 — Хирциз-Шибан східний; 4 — Арма-Єлі; 5 — Керлеутський; 6 — Джану-Тепе; 7 — Борух-Оба; 8 — Ак-Тубе; 9 — Кончек; 10 — Насирський; 11 — Королівський; 12 — Бурулькайський; 13 — Новоселівський; 14 — Чонгелекський; 15 — Сююртаский; 16 — Андріївський; 17 — Бураський; 18 — Восходівський (Джарджав); 19 — Солдатсько-Слобідський; 20 — Великий Тарханський; 21 — Малий Тарханський; 22 — Булганацький; 23 — Баксинський; 24 — Єнікальський. Арабськими цифрами вказані типи сопкових вод грязьових вулканів: I — хлоридно-гідрокарбонатно-натрієвий; II — гідрокарбонатно-хлоридно-натрієвий; III — сульфатно-хлоридно-магнієвий; IV — гідрокарбонатно-нітратно-натрієвий; V — хлоридно-сульфатно-гідрокарбонатно-натрієвий; VI — сульфатно-гідрокарбонатно-натрій-магнієвий. Мінерали водно-хемогенних утворень: Са — кальцит; Do — доломіт; Ні — галіт; Th — тенардит; Ep — епсоміт; Gy — гіпс; Hx — гексагідрит; Tr — трона; No — нортупіт; Ti — тінкалконіт; Ge — гейлюсит; Bo — бура; Pr — пірсоніт; Ne — нескегоніт, Ni — нітратин, Pr — пробертит. Основні структури Керченського півострова: А — мегаантиклінарія Гірського Криму; Б — Південно-Західна рівнина; В — Позапарпацька область

пробертиту, боронатрокальциту у відкладах сопкових полів та вдавнених синкліналей. В сопкових водах деяких грязьових вулканів встановлено значні концентрації йоду [10–12, 27, 28].

В сопкових водах Булганацького, Тобечицького, Малотарханського, Джану-Тепенського, Єнікальського, Новоселицького та інших грязьових вулканів спостерігаються періодична присутність нафти.

Режимні спостереження за хімізмом сопкових вод Керченського півострова у період 2007–2008 рр. показали, що основні тенденції катіонно-аніонного складу в цілому збігаються з показниками, встановленими при їх дослідженні в 30-х, 60-х та 70-х роках 20-го сторіччя. Це вказує на певну статичність хімізму

сопкових вод у цьому регіоні. Хоча деякі відмінності сольового режиму все ж таки зафіксовані. Для певних вулканів спостерігається збільшення або зменшення загальної мінералізації і вміст окремих іонів. Так, суттєво збільшилась мінералізація на сопках Булганацького вулкану за рахунок збагачення їх бором, хлором, гідрокарбонатом, натрієм та зменшилась на Бураському вулкані — за рахунок зниження концентрацій натрію і хлору.

Сопкові води є джерелом для формування на шляхах їх розвантаження значної кількості сезонних мінералів. За розмаїттям хімічних компонентів вони є складною системою, яка немає аналогів серед інших природних об'єктів. Навіть в межах одного грязьового вулкану, але на різних сопках чи грифонах, вміст компонентів може кардинально змінюватись, обумовлюючи різний склад і послідовність кристалізації солей.

Для виділених вище основних типів сопкових вод встановлено наступні мінеральні асоціації сучасних водно-хемогенних утворень: 1) I типу — кальцит, доломіт, бура, тенардит, галіт, трона, нортупіт, пірсоніт, гейлюсит, нітратин; 2) II типу — кальцит, бура, тенардит, галіт, трона, нортупіт, пірсоніт, гейлюсит; 3) III типу — епсоміт, гексагідрит, галіт, гіпс; 4) IV типу — епсоміт, гексагідрит, галіт, гіпс; 5) V типу — епсоміт, гексагідрит, галіт, тенардит, гіпс; 6) VI типу — епсоміт, гексагідрит, галіт, гіпс (рис. 2).

Слід відмітити, що кристалогенез відбувається у відкритій системі і одним з найважливіших факторів його є температура. Остання призводить до перенасиченості розчинів, з яких і утворюються мінерали. Середня температура сопкових вод на виході з вулканів складає  $+21^{\circ}\text{C}$ , а температура повітря влітку біля місць їх розвантаження досягає  $45\text{--}50^{\circ}\text{C}$  (липень).

Основними формами виділення новоутворених мінералів є: кірки, квіткоподібні та гроноподібні агрегати, дендрити, землісті маси, які розташовані біля кратерів вулканів або вздовж шляхів розвантаження сопкових вод. Всі вони є полімінеральними, складені з дрібно- та криптокристалічних індивідів, мають переважно білий різних відтінків колір та незначну (до 2 см) потужність.

При дощових опадах сезонні мінерали частково розчиняються. Першими зазнають розчинення такі мінерали як нітратин, астраханіт, тенардит, гексагідрит, пентагідрит і галіт. Після них розчиняються трона, нортупіт, пірсоніт, гейлюсит, несквегоніт, бура (рис. 3). Більш стійкими до розчинення є гіпс і кальцит. Найменшого впливу зазнають травертинові відклади з кальциту. Збагачені солями дощові води змішуються з сопковими і потрапляють до ґрунтів, що викликає їх засолонення. У межах площ впливу грязьових вулканів поширені такі види засолонення як боратизація, карбонатизація та сульфатизація.

У складі газів грязьових вулканів Керченського півострова встановлено: метан, вуглекислий газ, важкі вуглеводні, азот, аргон, гелій, інколи зустрічається водень, сірководень, оксид вуглецю.

Підраховано [28], що вулкани Керченського півострова в активній фазі щоденно постачають на поверхню  $1500\text{--}2000\text{ м}^3$  газу, а в пасивній стадії біля  $520\text{ м}^3$ . В такому випадку об'єм вивержених газів за весь період грязьовулканічної діяльності ( $\approx 30$  млн років) буде складати біля  $17\text{--}20$  трлн  $\text{м}^3$ .

Режимними спостереженнями за сопковими газами Керченського півострова в період 2007—2013 рр. встановлено, що найбільш поширеним газом для всіх вулканів і окремих сопкок є метан. Найбільші його концентрації зафіксовані в

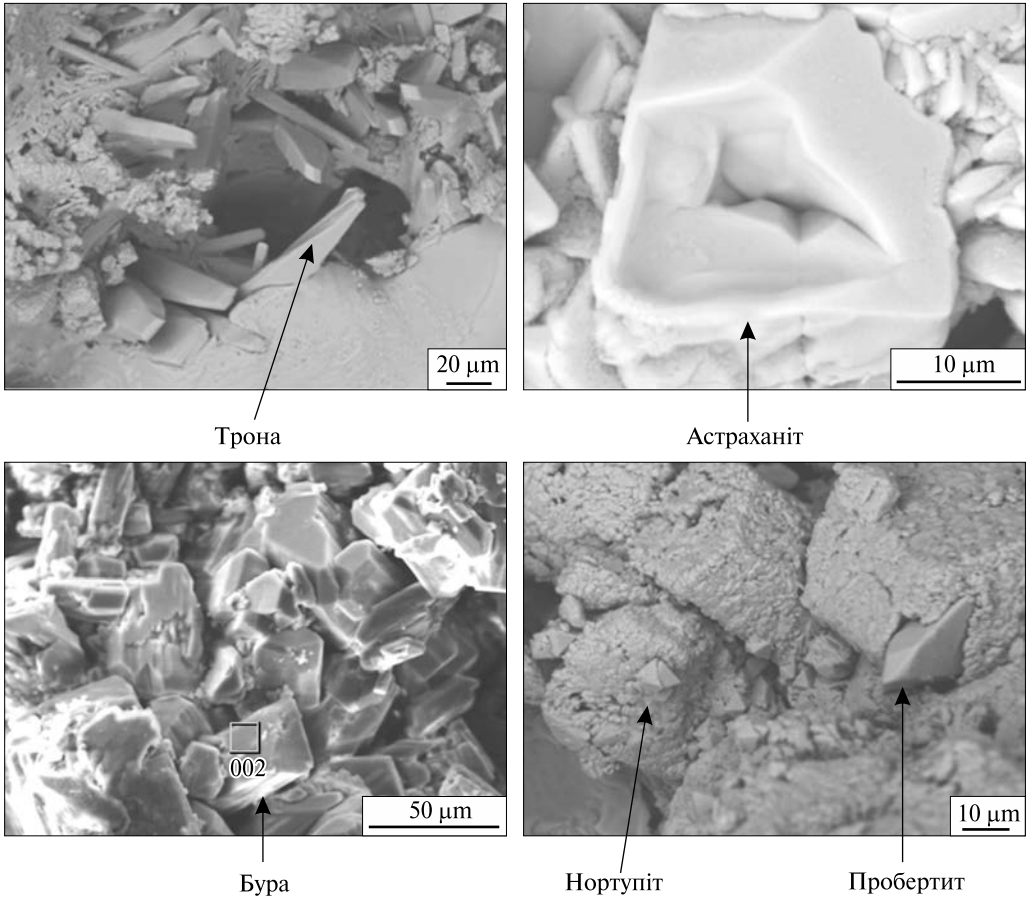


Рис. 3. Приклади сучасних мінералів водно-хемогенного генезису з сопкових вод Керченсько-го півострова

сопках Булганацького грязьового вулкану — до 96 % (сопки Андрусова і Тищенка) та грязьовому вулкані Солдатська Слобідка. Вміст вуглекислого газу коливається в межах від десятих часток відсотка (вулкан Борух-Оба) до 64,22 % (сопка Центральне Озеро Булганацького вулкану) [30]. Вміст важких вуглеводнів та інших газів незначний, в сумі не перевищує 2–3 %. Переважно метановий склад був характерний для сопок і в замірах 1960–1970-х рр. Підвищені концентрації азоту в газах грязьових вулканів, розміщених в міській агломерації (Булганак, Солдатська Слобідка), ми пов'язуємо з техногенними джерелами.

Гази грязьових вулканів мають полігенну природу. Про це свідчать чисельні дані ізотопного складу їх компонентів [3, 5, 6, 21, 22, 27–30]. Так для Булганацького вулкану, як і в цілому для Керченсько-Таманської грязьовулканічної області, ізотопний склад вуглецю з метану і вуглекислого газу суттєво відрізняються. За останніми даними [5] для метану  $\delta^{13}\text{C}$  змінюється від значень  $-53,6$  до  $-33,0$  ‰ (середні значення  $-42,8$  ‰), що є характерним для вуглецю газових і нафтогазових родовищ цього регіону. Для вуглекислоти  $\delta^{13}\text{C}$  змінюється від  $-19,4$  до  $+20,7$  ‰ (середні значення  $+0,7$  ‰), що добре узгоджується з ізотопним складом газів глибинного походження.



По мірі збільшення в газах вмісту вуглекислоти, її вуглець збагачується  $\delta^{13}\text{C}$ , а вуглець метану з газової суміші збагачується  $\delta^{12}\text{C}$ . Тобто в природних умовах відбуваються реакції ізотопного обміну вуглецю.

Ізотопні дослідження гелію Булганацького грязьового вулкану вказують на його змішане походження. Співвідношення  $^3\text{He}/^4\text{He}$  становить  $5,5\text{--}6,8 \times 10^{-8}$ . Подібні дані отримані для більшості вулканів Азербайджану ( $5\text{--}55 \times 10^{-8}$ ), Туркменістану ( $6,6\text{--}33 \times 10^{-8}$ ) та Румунії ( $2,1\text{--}6,1 \times 10^{-8}$ ) [5, 29].

Активізація грязьового вулканізму Керченського півострова в цілому корелюється з фазами інтенсивної тектонічної активності регіону і має переривчастий характер. Для цього регіону в палеоген-неогені достатньо впевнено виділяються декілька важливих імпульсів грязьовулканічної активності: в верхньому майкопі, чокрак-карагані, сарматі та кімерії. Найбільша активність грязьових вулканів проявлена в міоцені — початку пліоцену. Фази активізації зафіксовані в розрізах компенсаційних вдавнених синкліналей. Між фазами активних вивержень більшість грязьових вулканів перебуває в пасивній — сальзово-грифонній стадії. В цей період на поверхню з грязьових вулканів через сальзи і грифони виділяється в основному рідка глиниста маса.

Основними факторами, що визначають об'єм глинистого матеріалу і твердих уламків, викинутих при виверженні грязьового вулкану є: об'єм, швидкість та тривалість руху газів в еруптивному каналі до поверхні, а також ступінь обводнення порід на шляху. По мірі падіння тиску газів в еруптивному каналі, швидкість їх руху до поверхні зменшується, і канал, який прорвався раніше, буде заповнюватись сопковою брекчією та уламками гірських порід. Саме тому амплітуда діяльності грязьового вулканізму в значній мірі залежить від частоти і кількості потрапляння порцій газу в еруптивний канал з сусідніх газонасичених пластів та співвідношення динамічного і гідростатичного тисків.

При відносно невисокій різниці тисків газу рухаються вгору повільно, шляхом своєрідного переливу. В такому випадку на поверхню повільно виділяється рідка газонасичена грязь. Оскільки потрапляння та накопичення газів в еруптивному каналі не є постійним то і виверження вулканів носить імпульсний характер.

Комплексом геолого-геофізичних досліджень було з'ясовано, що еруптивні канали грязьових вулканів Керченського-Таманського регіону пронизують майже 10-ти кілометрову товщу осадових порід — четвертинно-міоценового ( $\approx 3$  км), майкопського ( $\approx 5$  км), еоценового ( $\approx 2$  км), палеоценового ( $\approx 1\text{--}2$  км), крейдового та юрського ( $0,25\text{--}0,75$  км) віку, заглиблюючись у верхи фундаменту до поверхні Мохо [13, 16, 17, 26]. Окремі породи цих комплексів були встановлені і дослідженні в твердих викидах грязьових вулканів, розташованих в різних тектонічних структурах Керченського півострова: Південно-Західній рівнині, Позапарпацькій області та Керченсько-Таманському міжпериклінальному поперечному прогині. В них достовірно встановлені породи крейдового, палеогенового, неогенового та четвертинного віку.

У сучасному рельєфі грязьові вулкани представляють собою два основних морфологічних типи: невисокі позитивні (до 120 м) або неглибокі (до 40—60 м) негативні форми. Це пов'язано з специфікою розташування еруптивного каналу відносно антикліналі та характеру речовинного наповнення цієї структури. Але в будь-якому випадку, в кожному грязьовому вулкані періодично виникають

дрібні позитивні форми у вигляді сопок, конусів та грифонів. Морфологія та висота останніх залежить в більшості від консистенції матеріалу, що вивергається.

Всебічні дослідження грязьового вулканізму та палеогеографії Керченсько-Таманського сегменту дозволили відтворити хронологію основних подій в цьому регіоні за останні 35 млн. років. Важливим елементом в цьому є компенсаційні вдавнені синклінали, оскільки саме вони є головними «свідками» діяльності грязьових вулканів у геологічному минулому.

Вдавнені синклінали являють собою своєрідні структури просідання. Вони утворилися на ослаблених частинах антикліналей внаслідок виносу грязьовими вулканами на денну поверхню великої кількості продуктів виверження і створення «дефіциту мас» на глибині. Сопкова брекчія, що виливається на поверхню, створює додаткове навантаження, яке сприяє цьому просіданню. При підводному виверженні просідання прискорюється також за рахунок тиску товщі води [23, 24]. Вирішальним фактором для створення і розвитку вдавнених синкліналей є сприятливе поєднання активної грязьовулканічної діяльності і палеогеографічної обстановки.

Найбільш давні проявлення грязьового вулканізму відбулися в кінці палеогену. Цьому передувало інтенсивне прогинання, трансгресія моря та накопичення в морському середовищі потужної товщі глинистих осадків. Опускання території було нерівномірним, що відобразилось на потужності та фаціальному складі відкладів для різних частин басейну. Найбільші амплітуди прогинання відмічаються для північної частини півострова. Породи майкопської серії ми відносимо до найбільш давніх відкладів вдавнених синкліналей, в яких вони представлені глинами, пісковиками, алевролітами, сидеритовими конкреціями.

На початку раннього міоцену трансгресивний цикл змінюється регресією. Швидкість осадконакопичення різко зменшується, а в рельєфі з'являються достатньо крупні підняття. На Керченському півострові відбувається перша фаза формування брахіантиклінальних складок. Найбільш інтенсивно цей процес проходить в західній частині півострова. Морський басейн та його глибина значно скорочуються. В таких умовах формуються мілководні відклади тарханського часу. Потужність цих відкладів була незначною і вони майже не залишили слідів в розрізах вдавнених синкліналей.

Чокрацьке море в період максимального свого розвитку займало майже всю площу Керченського півострова, виключаючи лише західну частину Південно-Західної рівнини. Майже такий режим зберігся в караганський та конський час. В басейні формуються в основному карбонатні фації. В цей період грязьовий вулканізм на Керченському півострові досягає значної активності. Його діяльність в морському середовищі спричиняє зародження чисельних вдавнених синкліналей (14 з 35 нині відомих). Активно діють Джау-Тепеньський, Кояський, Узунларський, Кончекський та інші грязьові вулкани. В компенсаційних вдавнених синкліналях, крім звичайних осадків, відбувається захоронення продуктів грязьовулканічної діяльності. Чокрацькі відклади у вдавнених синкліналях представлені карбонатно-органогенними фаціями потужністю 40—50 м.

Активність грязьових вулканів дещо зменшується наприкінці чокрацького часу, але в караганський час на півострові більшість грязьових вулканів продовжують вивергатися. Продукти їх виверження ми фіксуємо у розрізах багатьох вдавнених синкліналей.

В сарматі в Гірському Криму відбуваються підняття, які супроводжуються складкоутворенням та активізацією грязьового вулканізму на Керченському півострові. Сліди цієї активізації також реєструються в розрізах вдавлених синкліналей. Відклади нижнього сармату встановлені в 10, середнього сармату — 19, верхнього сармату — 9 вдавлених синкліналях. В кінці верхнього сармату морський басейн суттєво скорочується.

Відклади сарматського ярусу у вдавлених синкліналях розповсюджені досить широко і представлені усіма трьома під'ярусами, але в жодній з них повний і безперервний розріз не встановлено. Найбільшого поширення отримали відклади нижнього та середнього сармату, що вказує на більш активну фазу грязьовулканічної діяльності в цей час. Нижній сармат потужністю до 60 м складений темно-сірими до чорних глинами часто з конкреціями сферосидеритів та піритизованих стяжінь. Відклади середнього сармату складено глинисто-карбонатними фаціями. Найбільш повний, фауністично охарактеризований його розріз встановлено у вдавненій синкліналі Джау-Тепенського грязьового вулкану, де його потужність (включаючи і сопкові відклади) становить 160—180 м. Верхній сармат у вдавлених синкліналях представлений світло-сірими вапняковими пісковиками, доломітизованими вапняками, рідше глинами. Загальна потужність сармату у вдавлених синкліналях без урахування прошарків сопкових відкладів складає понад 150 м, а з ними — понад 250 м.

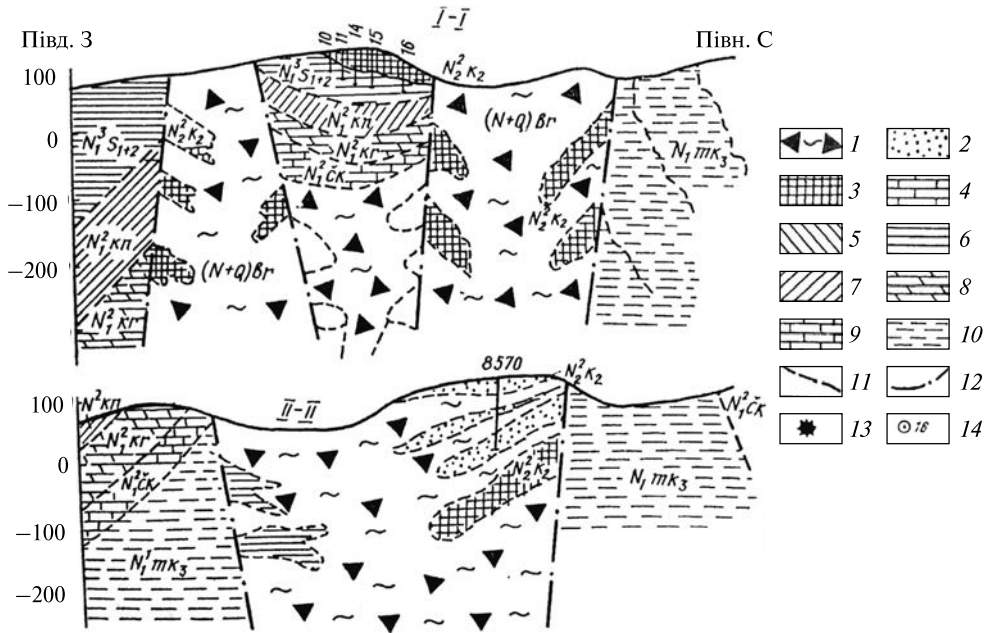
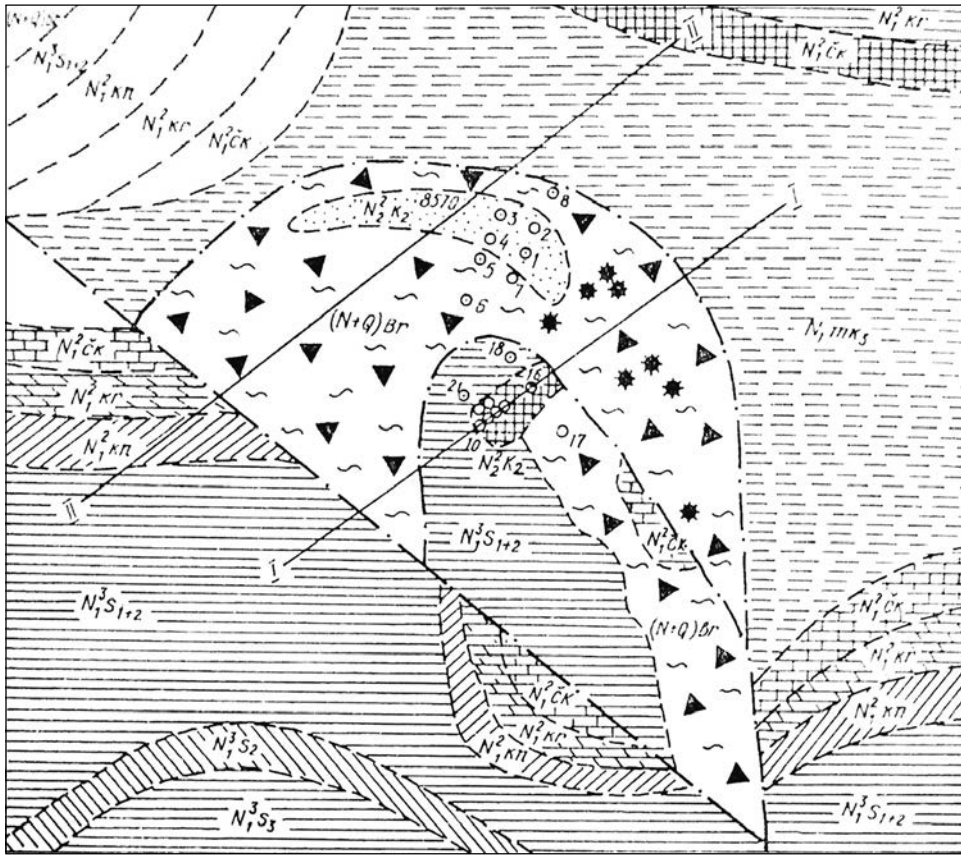
Слабка трансгресія у ранньому меотисі дещо збільшила межі морського басейну, але море залишилося як і раніше мілководним. Грязьовулканічна діяльність в більш менш активній фазі існувала тільки в північній антиклінальній зоні.

В кінці меотису територія Керченського півострова зазнає значних позитивних рухів, що призводить до виходу деяких антиклінальних структур на денну поверхню, де вони зазнають значного руйнування. Лише в знижених ділянках продовжувалося накопичення морських фацій, яке тривало до понту включно.

Розріз меотичного ярусу у вдавлених синкліналях фіксується відкладами двох горизонтів, що поширені, головним чином, у вдавлених синкліналях Позапарпацької області. Відклади представлені вапняково-піщанистими фаціями та глибоководними глинами. Загальна потужність відкладів цього ярусу різко змінна — від 50 м в Кезенській до 100 м в Опукській, досягаючи в Каменській вдавненій синкліналі 120—140 м.

В понтичний час Керченський півострів зазнає незначного опускання, але воно не призводить до регіонального занурення брахіантиклінальних складок під воду. Деякі з них залишаються над рівнем моря. В цей час спостерігається незначна активізація грязьовулканічного процесу, продукти якого зафіксовано у розрізах вдавлених синкліналей Андріївсько-Солдатської антиклінальної зони.

Наприкінці понту територія зазнає регіонального підняття. Фрагменти морського режиму зберігаються лише в північній та східній частинах Керченського півострова. Така ситуація на півострові зберігається до нижньокімерійського часу. Відклади понтичного ярусу в розрізах вдавлених синкліналей залягають на меотичних та більш давніх утвореннях з кутовою та стратиграфічною незгідністю. Їх встановлено лише в розрізах компенсаційних структур Позапарпацької області та Керченсько-Таманського міжпериклінального прогину. В них переважають карбонатні фації — вапняки-черепашники, глинисті черепашни-



**Рис. 4.** Геологічна схема та розріз Булганацької залізорудної вдавненої синкліналі: 1 — нерозчленовані неоген-четвертинні відклади грязьового вулкану: сопкова брекчія, конглобрекчія, глини; 2 — кімерійський ярус: піски, глинисті піски, алеврити; 3 — кімерійський ярус: залізні руди; 4 — сарматський ярус, верхній під'ярус: глини, вапняки; 5 — сарматський ярус, середній під'ярус: глини, мергелі, піщаники; 6 — сарматський ярус, нижній і середній під'ярус: нерозчленовані глини; 7 — конський ярус: глини з прошарками мергелів; 8 — караганський ярус: глини, вапняки; 9 — чокрацький ярус: моховатко-водоростеві вапняки, глини; 10 — верхня частина майкопу: глини з прошарками і конкреціями сидеритів; 11 — геологічні границі; 12 — тектонічні порушення; 13 — діючі грязьові сопки; 14 — свердловини

ки. Лише в Реп'ївській та Чонгелецькій вдавлених синкліналях встановлені буро-жовті шаруваті глинисті пісковики з фауною верхнього понту — нижнього кімерію. Потужність понтичного ярусу сягає 100 м.

На початку кімерійського часу тимчасові підняття виникли на східній частині півострова. Морський басейн охоплює лише північну частину півострова, тому найбільш повний розріз нижньої частини — азовського горизонту зберігся лише в Чегерчинській грабен-синкліналі.

В середньому кімерії відмічається незначна трансгресія, яка почалася зі сходу—південного-сходу. Мілководний морський режим відновлюється в мульдах Керченського півострова, де відбувається інтенсивне залізонакопичення. Особливо яскравим цей процес відбувався в залізородних вдавлених синкліналях, які у зв'язку з активізацією грязьовулканічної діяльності зазнавали суттєві диференційовані рухи і утворювали в певні моменти трансгресії найбільш глибоководні ділянки загалом мілководного моря. Вони слугували місцями одночасного накопичення грязьовулканічного і нормально осадового морського матеріалу. Потужність продуктивного камиш-бурунського горизонту у вдавлених синкліналях значно перевищує потужність звичайних мульд і становить декілька десятків метрів. Максимальні значення потужності рудного горизонту — 80 м встановлені в розрізі Новоселівської вдавненої синкліналі. Всього на Керченському півострові відкрито і досліджено 12 залізородних вдавлених синкліналей: Ачинська, Арма-Єлінська, Баксинська, Булганацька, Осовинська, Кезенська, Новоселівська, Узунларська, Реп'ївська, Солдатська, Чонгелецька та Бураська.

Розріз кімерійського ярусу у вдавлених синкліналях представлено усіма трьома горизонтами. Нижній (азовський або підрудний) складений глинами, глинистими черепащечниками (часто озалізненими), потужність коливається від 1 до 56 м. Середній (камиш-бурунський або рудний) горизонт представлено залізними рудами, озалізненими пісковиками, табачними глинами, глинистими пісковиками та глинами. Характерною ознакою руд вдавлених синкліналей є їх псевдоолітова структура, значний вміст теригенного матеріалу, складне перешарування з продуктами грязьовулканічної діяльності. Потужність середнього кімерію в компенсаційних структурах досягає 90—100 м. Верхній (пантикапейський або надрудний) горизонт має обмежене поширення. Він представлений перешаруванням пісків та глин, рідше з прошарками бідних залізних руд. Потужність пантикапейського горизонту в різних вдавлених синкліналях неоднакова і складає перші метри.

Загальні запаси залізних руд у вдавлених синкліналях Керченського півострова становлять 420—450 млн т [9]. Приклад геологічної будови Булганацької залізородної вдавненої синкліналі показано на рис. 4.

Наприкінці кімерійського часу море поступово зменшується і в куяльнику морський літогенез відбувається лише в найбільш занурених ділянках синклінальних прогинів. Значна частина території становить суходіл і осадконакопичення в компенсаційних вдавлених синкліналях суттєво скорочується, хоча діяльність грязьових вулканів в цей час залишається ще досить активною.

В кінці пліоцену півострів був повністю піднятий над рівнем моря і більшість грязьових вулканів вивергаються в умовах суходолу. Лише в прогинах на північному-заході частково зберігається ачкагильське море.

Відклади куюльницького ярусу встановлено тільки в Новоселівській, Кезенській, Баксинській і Каменській вдавлених синкліналях. В цих структурах вони залягають регресивно на верхньо-кімерійських і представлені слабо карбонатними піщано-глинистими фаціями. Максимальна потужність куюльницьких відкладів досягає 60 м.

В четвертинний час діяльність грязьових вулканів на Керченському півострові відбувається в аеральних умовах. Вона також має переривчастий характер. Четвертинні відклади у вдавлених синкліналях представлені континентальними бурувато-сірими глинами, суглинками, сопковою брекчією та залягають, головним чином, в компенсаційних структурах, розвиток яких продовжується в теперішній час.

Загальна потужність розрізу вдавлених синкліналей від чокрака до куюльнику включно становить понад 1000 м, що в середньому перевищує загальну потужність цих відкладів у розрізах типових мульд Керченського півострова на 25—40 %.

В голоценовій історії Керченського півострова задокументовано декілька інтенсивних вивержень грязьових вулканів. Найбільші з них зафіксовані на вулканах: Джау-Тепе — 17—18 ст., 1884 р., березень 1909 р., серпень 1909 р., березень 1914 р., 1920 р., 1925 р., вересня 1927 р., 1942 р., 1982 р., 2004 р.; Восходовський — листопад 1930 р., березень 1982 р.; Булганацький — весна 1923 р., вересень 1986 р., вересень 2001 р., 2002 р., 2011 р., 2012 р.; Насирський — багаторазові виверження в період 1988—1990 рр.; Голубіцький (Азовське море) — 1981 р., 1988 р., 1994 р., 2000 р., 2002 р., 2008 р., 2015 р.; Тіздар (Азовське море) — 2002 р.; Новоселецький — 2015 р. [8, 15, 22, 27, 28]. Виверження супроводжувались викидом на поверхню землі великої кількості сопкової брекчії та грязі, появою пару та диму, інколи з вогнем, вибухами та гулом, утворенням тріщин, провалів, кальдер.

Сліди сучасних вивержень грязьових вулканів зафіксовані на території Таманського півострова та акваторії Чорного моря. Все це підтверджує, що грязьовулканічна діяльність в цьому регіоні продовжується і нині, і можливо цей сплеск активності буде рівнозначним до тих, що були в минулому.

Нині на півострові діє 17 грязьових вулканів. Загальна маса твердих вивержених продуктів грязьових вулканів Керченського півострова за всю історію оцінюється в понад 60 млрд. т, з яких близько 40 млрд. т припадає на неогеновий період [25]. Крім цього, на поверхню Землі та в атмосферу надійшла величезна кількість сопкової води і газу. Така колосальна маса грязьовулканічного матеріалу призвела до помітних змін в морфології рельєфу, вплинула на процеси літогенезу і склад порід.

Як уже було сказано вище, основні етапи активізації грязьового вулканізму на Керченському півострові співпали з морським режимом і продукти його діяльності потрапляли у водне середовище. Ці продукти (сопкові води, гази, грязь) суттєво впливали на гідрохімічний склад водойми, прискорювали або зменшували процеси осадконакопичення, збагачували осадки тими чи іншими компонентами грязьовулканічного походження. Особливо помітним цей вплив спостерігається в компенсаційних вдавлених синкліналях.

Активізація сучасного грязьового вулканізму Керченського півострова корелюється з сейсмічними подіями в регіоні. Так встановлено, що підземні поштовхи впливають на збільшення викидів сопкового матеріалу, дебет та склад сопкових вод і газів. Деякі сейсмічні події супроводжуються бурхливим вивержен-

ням. Найбільш чутливими компонентами при режимних спостереженнях за сейсмічністю є вуглекислий газ та гелій. Під час або на передодні сейсмічної події їх концентрації в газовій фазі вулканів суттєво збільшуються. Ці данні добре узгоджуються з сейсмічними подіями, епіцентри яких знаходяться в Румунії та західній Туреччині.

## **Висновки**

1. Сприятливими чинниками утворення і діяльності грязьових вулканів Керченського півострова є активна тектонічна обстановка регіону, наявність потужної товщі пластичних глинистих порід, збагачених водно-газовими флюїдами, брахіантиклінальний тип складок.

2. Діяльність грязьових вулканів Керченського півострова носить циклічний характер. Протягом верхнього палеогену-неогену виділяється декілька стадій їх активізації, що лежать у площині ендеогенних та екзогенних факторів. Нині на Керченському півострові достовірно встановлено 24 грязьові вулкани, 17 з яких перебувають в газо-грифонній стадії розвитку, решта — не діючі. Найбільш активним серед них є Булганацький грязьовий вулкан.

3. Кінцевий літолого-мінеральний склад твердих продуктів грязьовулканічних вивержень Керченського півострова сформувався за рахунок наступних складових: *a* — майкопських відкладів, які формують матрицю сопкової брекчії; *b* — порід які були захоплені еруптивним каналом з інших стратиграфічних рівнів (від чокраку до антропогену включно) під час руху сопкових глин до поверхні; *c* — порід та мінералів, що утворились внаслідок фізико-хімічних процесів та перетворень в еруптивному каналі.

4. В твердих викидах грязьових вулканів Керченського півострова встановлені численні уламки різновікових осадових порід, що в стратиграфічній шкалі відповідають крейдяним, палеогеновим та неогеновим відкладам. Кількісний та якісний склад уламків для різних грязьових вулканів відрізняється і залежить від особливостей розташування їх в межах основних структурних одиниць півострова та особливостей динаміки грязьовулканічного процесу в часі.

5. На денну поверхню грязьові вулкани викидають величезну кількість продуктів виверження: сопкові глини, сопкові брекчії, уламки порід та мінералів, воду, газ. Основна маса (96—98 %) твердих викидів грязьових вулканів відповідає алеврито-глинистій фракції. Вміст фракції  $>0,1$  мм становить 2—4 %, з яких на частку піщаної фракції припадає 0,64—1,29 %, гравійної — 0,87—1,63 %, на щелеву та валунну фракції 0,5—1,08 %.

6. За літологічним складом в твердих викидах грязьових вулканів Керченського півострова встановлено такі породи: пісковики, алевроліти, вапняки, аргіліти, мергелі, залізнi руди, глинисто-карбонатні конкреції, тверді бітуми, глинисто-карбонатні породи з текстурою *cone in cone*.

7. В продуктах грязьового вулканізму встановлено численні мінерали аутигенного генезису: сульфіді (пірит, аурипігмент, кіновар, реальгар), борати (люнебургіт, тинкалконіт, керніт, бура, пробертит, боронатрокальцит), карбонати (кальцит, доломіт, трона, нортупіт, гейлюсит, пірсоніт, несквегоніт, термонатрит), сульфати (гіпс, астраханіт, епсоміт, ангідрит, барит, целестин, гексогідрит, пентагідрит, сандерит, тенардит, мірабіліт, алуніт, ярозит), нітрати (нітратин),

хлориди (галіт), карбіди (когеніт, муасаніт), самородні (залізо, нікель, золото, золото мідисте, мідь, срібло, свинець, цинк, платиноїди, залізисто-неодимові сполуки, сполуки заліза, церію та лантану, сполуки лантану, неодиму та заліза, графіт, сірка тощо).

8. Сопкові глини на відміну від майкопських, що мають переважно монтморилонітовий склад і є їх першоджерелом, складені гідрослюдами і значною мірою карбонатизовані і каолінізовані. Постійною домішкою сопкових глин є теригенний кварц.

9. Найбільш розповсюдженими типами сопкових вод грязьових вулканів Керченського півострова є хлоридно-гідрокарбонатно-натрієвий і гідрокарбонатно-хлоридно-натрієвий.

10. Загальна кількість грязьових вулканів від пізнього майкопу до кімерію збільшується, а кількість вдавнених синкліналей зменшується. Така невідповідність пояснюється поступовим зменшенням морського басейну від чоक्रаку до антропогену і виходом грязьових вулканів на суходіл.

11. Сопкові відклади є цінною бальнеологічною та нерудною сировиною. З них можливий видобуток бору та йоду, а з залізорудних вдавнених синкліналей — заліза та супутніх з ним компонентів.

12. Фактор присутності в грязьових вулканах та продуктах їх діяльності газоподібних, рідких вуглеводнів та твердих бітумів вказує на прямий пошуковий критерій нафти і газу на глибині.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Абих Г.В. Геологический обзор полуостровов Керчи и Тамани. Город: Зап. кавк. отд. рус. геогр. об-ва, 1873. Кн. 8. С. 1—17.
2. Авдусин П.П. Грязевые вулканы Крымско-Кавказской геологической провинции. Москва: Изд-во АН СССР, 1948. 192 с.
3. Алиев Ад.А., Гулиев И.С., Дадашев Ф.Г., Рахманов Р.Р. Атлас грязевых вулканов мира. Nafta&Press, Sandro Teti Editori, 2015. 322 с.
4. Белоусов В.В., Яроцкий Л.А. Грязевые сопки Керченско-Таманской области, условия их возникновения и деятельности. Москва: ОНТИ НКГП СССР, 1936. 154 с.
5. Ершов В.В., Бондаренко Д.Д. Характеристика изотопного и химического состава газов, выбрасываемых грязевыми вулканами из разных регионов мира. *Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология*. 2020. № 3. С. 23—35.
6. Каюкова Е.П. Изотопный состав жидкой фазы грязевых вулканов (Керченский полуостров, Восточный Крым). Геотермальная вулканология, гидрогеология, геология нефти и газа. Материалы Междунар. конференции (3—8 сентября 2020 г.). Петропавловск-Камчатский, 2020. С. 98—101.
7. Лимонов А.Ф. Грязевые вулканы. *Соросовский образов. журнал*. 2004. Т. 8, № 1. С. 63—69.
8. Нестеровский В.А. Активизация грязевых вулканов Керченско-Таманской области. *Геол. журн*. 1990. №1. С. 138—143.
9. Нестеровский В.А. Уникальный промышленно-генетический тип осадочных месторождений. *Геол. і корисн. коп. Світового океану*. 2020. 16, № 1: 54—68.
10. Нестеровський В.А., Деяк М.А. Карбонати водної фази грязьових вулканів Керченського півострова. *Геол. и полезн. ископ. Мирового океана*. 2009. №3. С. 78—84.
11. Нестеровський В.А., Деяк М.А. Дослідження сезонних мінералів грязьових вулканів Керченського півострова. Сучасні проблеми літології та мінералогії осадкових басейнів України та суміжних територій: зб. наукових праць Ін-ту геол. наук НАН України. Київ. 2008. С. 121—126.
12. Нестеровський В.А., Деяк М.А. Сезонні мінерали грязьових вулканів Чокраксько-Булганакської антиклінальної зони Керченського півострова. *Геол. и полезн. ископ. Мирового океана*. 2008. №3. С. 76—83.



13. Нестеровський В.А., Тітова Н.О. Літологічний склад твердих викидів сопок Булганаського грязьового вулкану. Сучасні проблеми літології осадових басейнів України та суміжних територій: зб. наукових праць Ін-ту геол. наук НАН України. Київ, 2012. С. 60—64.
14. Паллас П.С. Краткое физическое и топографическое описание Таврической области. СПб., 1795. 72 с.
15. Пасынков А.А., Вахрушев В.А., Ковригин А.И., Вишневецкий М.А. Проявление грязевого вулканизма на Керченском полуострове. *Геол. и полезн. ископ. Мирового океана*. 2016. № 1. С. 93—99.
16. Тітова Н.О. Літологічний склад грубоуламкових викидів грязьового вулкану Джау-Тепе. *Геол. и полезн. ископ. Мирового океана*. 2013. №3. С. 110—117.
17. Тітова Н.О. Глинисто-сидеритові конкреції з твердих викидів грязьових вулканів Керченського півострова. *Геол. и полезн. ископ. Мирового океана*. 2014. №2. С. 94—99.
18. Тітова Н.О., Нестеровський В.А., Деяк М.А., Ступина Л.В. Состав песчано-глинистой фракции сопочной брекчии грязевого вулкана Джау-Тепе на Керченском полуострове. *Геол. и полезн. ископ. Мирового океана*. 2013. № 4. С. 90—94.
19. Холодов В.Н. Грязевые вулканы: распространение и генезис. *Геол. и полезн. ископ. Мирового океана*. 2012. № 4. С. 5—27.
20. Шнюков Е.Ф. Флюидогенная минерализация грязевых вулканов Азово-Черноморского региона. Киев: ГНУ ОМГОР НАН Укрина, 2016. 194 с.
21. Шнюков Е.Ф., Гнатенко Т.П., Нестеровський В.А., Гнатенко О.В. Грязевой вулканизм Керченско-Таманского региона. Киев: Наук. думка, 1992. 199 с.
22. Шнюков Е.Ф., Коболев В.П., Пасынков А.А. Газовый вулканизм Черного моря. Киев: Логос, 2013. 384 с.
23. Шнюков Е.Ф., Кутний В.А. Подтвердившийся прогноз. *Геол. журн*. 1987. 47, №1. С. 133-136.
24. Шнюков Е.Ф., Науменко П.И. Киммерийские железные руды вдавнения синклиналей Керченского полуострова. Симферополь: Крымиздат, 1964. 126 с.
25. Шнюков Е.Ф., Науменко П.И., Лебедев Ю.С. и др. Грязевой вулканизм и рудообразование. Киев: Наук. думка, 1971. 332 с.
26. Шнюков Э.Ф., Нетребская Е.Я. Корни Черноморских грязевых вулканов. *Геол. и полезн. ископ. Мирового океана*. 2013. №1. С. 87—92.
27. Шнюков Е.Ф., Соболевский Ю.В., Гнатенко Г.И. и др. Грязевые вулканы Керченско-Таманской области. Атлас. Киев: Наук. думка, 1986. 149 с.
28. Шнюков Е.Ф., Шереметьев В.М., Маслаков Н.А. и др. Грязевые вулканы Керченско-Таманского региона. Краснодар: ГлавМедиа, 2006. 176 с.
29. Якубов А.А., Григорьянц Б.В., Алиев А.А. и др. Грязевой вулканизм Советского Союза и его связь с нефтегазоносностью. Баку: Элм, 1980. 165 с.
30. Etiope G., Feyzullayev A., Milkov A.V. et al. Evidence of subsurface anaerobic biodegradation of hydrocarbons and potential secondary methanogenesis in terrestrial mud volcanoes. *Marine and Petroleum Geology*. 2009. Vol. 26, Iss. 9. P. 1692—1703.

Стаття надійшла 11.02.2021

*V.A. Nesterovskiy*, Doctor of Geology,  
Professor of the Department of Petroleum Geology  
Taras Shevchenko National University of Kyiv  
90, Vasylkivska Str, Kyiv, Ukraine, 03022  
E-mail: v.nesterovski@ukr.net  
ORCID 0000-0002-7065-8962

*N.O. Hryshchanko*, PhD (Geol.),  
Researcher SSI «MorGeoEkoCenter» of NAS of Ukraine, Kyiv  
55-b, O. Honchara str., Kyiv, Ukraine, 01054  
E-mail: tno25@ukr.net

*M.A. Deiak* PhD (Geol.),  
Senior Researcher SSI «MorGeoEkoCenter» of NAS of Ukraine, Kyiv  
55-b, O. Honchara str., Kyiv, Ukraine, 01054  
E-mail: nayk@ukr.net  
ORCID 0000-0002-9330-2766

## GENETIC MODEL OF MUD VOLCANISM OF THE KERCH PENINSULA (SCIENTIFIC AND APPLIED ASPECTS)

The work is devoted to the results of many years of research and observations of mud volcanoes on the Kerch Peninsula. It aims to reveal the most important factors and aspects related to their origin, activity and impact on the geological history of the region.

About 50 fossil and modern mud volcanoes have been defined on the Kerch Peninsula and the adjacent part of the water area. Their activity is consistent with the phases of activation of the alpine tectogenesis of the Crimean-Caucasian segment and is intermittent and impulsive.

In the geological history of the peninsula, four main bursts of mud volcanic activity are clearly recorded: in the Upper Maikop, Chokrak-Karagan, Sarmatian and Cimmerian. Its greatest activity is manifested in the late Miocene and early Pliocene.

Favorable factors for the development of mud volcanoes within the peninsula are the presence of a thick layer of plastic clays enriched in water and gas fluids, the widespread development of brachyanthyclinal folds in the Neogene structural surface and a network of deep faults and fractures.

The activity of mud volcanoes is associated with the formation of specific compensation structures - depressed synclines, which have become widespread on the Kerch Peninsula. The latter, depending on the paleogeographic conditions (sea, land) and the structural position of volcanoes in the anticlines, have acquired different specifics of structure and filling.

Some depressed synclines are associated with iron ore deposits, which differ from typical iron ores of the mulde type by significant capacity, structural and textural features and material composition.

Components of hydrothermal and exogenous origin have been defined in the products of mud volcanism: mud gases, mud waters, mud breccias, which indicates the genetic connection of this phenomenon with deep and near-surface processes.

In addition, liquid, solid and gaseous hydrocarbons are often detected in volcanic eruptions. The latter are a criterion for searching for oil and gas at depth.

Mud volcanoes of the Kerch Peninsula are a unique testing ground for monitoring the processes of modern mineral formation, the dynamics of deep processes and seismic activity in the region.

**Keywords:** *Kerch Peninsula, mud volcanoes, depressed synclines, modern mineralogenesis, mud volcanoes sediments.*