

<https://doi.org/10.15407/dopovidi2021.05.050>

УДК 551.14:550.3(447)

**О.Ю. Лукін**<sup>1</sup>, академік НАН України, <https://orcid.org/0000-0003-4844-1617>

**В.М. Шестопапов**<sup>2</sup>, академік НАН України

<sup>1</sup> Інститут геологічних наук НАН України, Київ

<sup>2</sup> ДУ “Науково-інженерний центр радіогідрогеологічних полігонних досліджень НАН України”, Київ

E-mail: chv\_ukrdgri@ukr.net

## **Срібненська кільцева структура (Дніпровсько-Донецька западина) — можливий полігон освоєння водневого потенціалу земних надр**

*Поняттю “труба дегазації” найбільш повно відповідають вулcano-тектонічні кільцеві структури. Ендогенний водень розглядається як головний фактор їх формування під час як “гарячої” (експлозивної), так і “холодної” (висхідна міграція легких газів) фаз. Саме з ними в першу чергу мають бути пов’язані водневі та гелієві (а також різноманітні гібриди) родовища. З цього приводу на особливу увагу заслуговують кільцеві структури типу давніх мегакальдер з подальшою тривалою геологічною еволюцією з різноманітними проявами перколяційних процесів, обумовлених висхідною міграцією легких газів (насамперед водню та гелію). Типовим прикладом такої кільцевої структури (тривало функціонуючі природні труби дегазації) є Срібненська вулcano-тектонічна депресія в Дніпровсько-Донецькій западині. Вона характеризується давнім закладанням (протерозой), експлозивним вулканізмом у девоні, накопиченням чорносланцевих відкладів у ранньому карбоні, ознаками багатократної активізації висхідної міграції водню в палеозой, мезозой та кайнозой, включаючи нео- та актуотектонічні етапи. Інтенсивна воднева дегазація підтверджується наявністю мікро- та нановключень часток самородних металів (включаючи такі оксифільні елементи, як Al, Zn, W та ін.). В статті наведена порівняльна характеристика Срібненської вулcano-тектонічної кільцевої структури та кальдери Узон (Східна Камчатка). Показано, що є усі підстави розглядати Срібненську кільцеву структуру та її обрамлення як ексклюзивний пошуковий об’єкт на ендогенний водень.*

**Ключові слова:** ендогенний водень, дегазація Землі, кільцеві структури.

На наших очах кардинально змінюються уявлення про структуру світового паливно-енергетичного комплексу найближчого майбутнього. Ще 10–15 років тому, за даними [1], до 2030 р. прогнозувалися диверсифіковані енергетичні джерела за провідної ролі нафти (5585 мільйонів тонн у нафтовому еквіваленті), вугілля (4994 млн т н.е.) і газу (3948 млн т н.е.), а також значної ролі біогазу (1615 млн т н.е.) і ядерної енергетики (854 млн т н.е.). Однак, з

---

Цитування: Лукін О.Ю., Шестопапов В.М. Срібненська кільцева структура (Дніпровсько-Донецька западина) — можливий полігон освоєння водневого потенціалу земних надр. *Допов. Нац. акад. наук Укр.* 2021. № 5. С. 50–60. <https://doi.org/10.15407/dopovidi2021.05.050>

одного боку, стрімкий зліт оцінок прогнозних ресурсів природного газу (понад 1000 трлн м<sup>3</sup>, без врахування метану газогідратів і підземних вод), з іншого боку, аварія на АЕС “Фукусіма” (Японія, 2011 р.), а також труднощі вирішення проблеми освоєння термоядерної енергії істотно (до 4500—5000 млн т н.е.) збільшили прогнозовану газову квоту, через що і без того значна роль органічного палива зросла до 15 млрд т ум. пал. Необхідність зупинити це нестримне зростання не потребує додаткової аргументації, і диктується вона не стільки обмеженістю вуглеводневого потенціалу, скільки техногенними геоекологічними факторами і насамперед неухильним зростанням вмісту в атмосфері CO<sub>2</sub>, оксидів сірки і азоту, H<sub>2</sub>S, а також метану (неминучі втрати газу під час розробки його родовищ, транспортуванні та утилізації). З розвитком водневої енергетики виникла проблема освоєння водневого потенціалу земних надр. У разі її успішного вирішення воднева енергетика може стати в найближчому майбутньому реальною альтернативою вуглеводневій, вугільній та урановій енергетиці і в перспективі стане провідною в структурі світового паливно-енергетичного комплексу. Існування невичерпних джерел водню, пов’язаних з дегазацією Землі (ДЗ), обґрунтовано теоретично [2, 3] і знаходить своє підтвердження в численних проявах водню [4, 5]. Останні пов’язані з різноманітними геологічними умовами: лужно-ультраосновними плутонами Хібін, кімберлітовими трубками, сегментами глибинних розломів. Принципове значення має випадкове відкриття промислового водневого родовища в Малі під час буріння гідрогеологічної свердловини в межах верхньопротерозойської тектоно-магматичної структури. Стабільний приплив майже чистого (98 %) водню отримано з глибини всього 110 м з рифейських піщано-грубоуламкових відкладів, що перешаровуються з долеритовими пластовими гіпабісальними інтрузіями. Наявні дані стосовно геології цього найбільш значного з відомих у світі проявів водневої ДЗ [6], незважаючи на їх обмеженість, дають підставу окреслити сприятливі тектоно-формаційні критерії пошуків родовищ водню даного типу. Вони пов’язані з процесами рифтогенезу, тафрогенезу (накопичення піщано-грубоуламкових відкладів у грабенах) і трапового магматизму в межах давніх платформ. Найбільш сприятливими поєднаннями тектоно-формаційних факторів глибинної водневої ДЗ є ініціюючі вказані процеси тектоно-магматичні структури кільцевого типу — кільцеві структури (КС). Попри морфогенетичне розмаїття, різні розміри, широкий стратиграфічний і формаційний діапазон їх виникнення та формування пов’язано з експлозивними процесами. Експлозивна природа КС, виявлених на всіх планетах земної групи і космічних тілах з поперечником ~10<sup>6</sup> м, доведена шляхом розв’язання системи крайових задач теорії пружності [7]. Передумовою їх формування є наявність мантійного каналу, який одноразово або, частіше, неодноразово навантажує енергією “шаровий слой” [7, с. 1082] (*від “шаровым слоем” автори [7] розуміють мантію і земну кору, на нашу думку, можна апроксимувати його “гранітним шаром”, що стягує на себе основну частину геодинамічних напружень, включати у це поняття всю мантію разом з корою некоректно*).

Автори [7] нічого не говорять про природу енергоносія, що навантажує внутрішнім тиском “шаровий слой”. Ми вважаємо, це водень, що надходить з ядра і нижньої мантії (металосфери, у розумінні В.Н. Ларіна). Зокрема, саме з водневими вибухами, як вже зазначалося [8], пов’язаний експлозивний вулканізм і утворення з ним різних за розміром кальдер. Саме різний режим водневої дегазації визначає чергування “гарячої” (у кінцевому рахунку — вуглекисло-водної) і “холодної” (воднево-вуглеводневої) ДЗ, у розумінні

П.Н. Кропоткіна. До цього слід додати, що і поняттю “труба дегазації”, введеному П.Н. Кропоткіним, найбільш повно відповідають КС, до яких окрім різноманітних тектоно-магматичних структур належать також кімберлітові і лампроїтові трубки вибуху, грязьові вулкани, соляні та інші діапіри. А.М. Портнов вважає найперспективнішими для освоєння водневого потенціалу земних надр водні родовища, пов’язані з вулканами центрального типу і насамперед — експлозивними вулканами [8]. На нашу думку, проблема превентивної (до водневого вибуху) стабільної розробки таких родовищ в теперішній час непомірна через технічні складнощі і економічні витрати. У майбутньому, за умови істотного збільшення технічних можливостей, її слід розглядати перш за все як спосіб приборкання катастрофічних впливів вулканів на оточуюче середовище в локальному, регіональному і навіть глобальному (у зв’язку з виверженням супервулканів) масштабах у поєднанні з можливістю видобутку водню у великих обсягах. У даний час більш реальним уявляється освоєння джерел ендегенного водню, пов’язаних з палеовулканогенно-тектонічними КС — першочергового типу об’єктів пошуків ендегенного водню. Як вже відзначалося, відомі зараз джерела ендегенного водню досить різноманітні. Проте для вирішення проблеми освоєння його стабільних джерел доцільно зосередитись на прогнозно-пошукових об’єктах, пов’язаних з певним типом КС. Ми вважаємо, що це насамперед не діючі вулкани центрального типу (КС, сучасна стадія розвитку яких характеризується пароксизмальними процесами спалювання ендегенного водню на глибині формування магматичного осередку), а палеовулканогенні структури з тривалими етапами проявлення поствулканічних процесів. Віковий діапазон співвідношення “гарячої” і “холодної” фаз їх розвитку може варіювати в досить широких межах. У рифтогенах древніх платформ, тектонотипом яких є Дніпровсько-Донецький авлакоген, фази “гарячої” дегазації в КС приурочені до пізнього протерозою, раннього і середнього палеозою. Набагато триваліші фази “холодної” ДЗ з’явилися у пізньому палеозої, мезозої і кайнозої — аж до нео(актуо)тектонічного етапу включно, коли ендегенний водень не згорав, а відігравав провідну роль у нафтидогенезі, “запускаючи” різні ВВ-генеруючі системи, брав участь у формуванні глибинної гідрогеологічної інверсії, утворював різноманітні дисипативні структури, активуючи колекторські властивості порід і розсіюючись у атмосфері.

Найбільш повно сучасні поствулканічні процеси пов’язаного з водневою ДЗ нафтидогенезу вивчені в кальдері Узон (Східний пояс Камчатсько-Курильської дуги), де встановлені численні нафто- і газопрояви, які характеризуються, з одного боку, широким фазово-геохімічним діапазоном, а з іншого — відносно повнотою вивченості геологічних і гідрогеологічних умов функціонування гідротермальної рудо- і вуглеводневоутворюючої системи. Для цієї тектоно-вулканічної зони (східне узбережжя Камчатки) характерно тісне переплетення процесів “гарячої” і “холодної” ДЗ. Тут відмічені нафтопрояви в пліоцен-четвертинних відслоненнях, виявлені припливи легкої нафти і газоконденсату у свердловинах (Богачовська площа). Головне ж полягає у тому, що тут встановлені прояви гідротермальної нафти [9]. Вона представлена двома відособленими у часі і частково у просторі генераціями: 1) зеленою (яка швидко буріє у разі контакту з повітрям) важкою ( $>0,9 \text{ г/см}^3$ ) смолистою сірчаною (до 2 %) нафтою метано-нафтено-ароматичного типу з унікально високою оптичною активністю і надзвичайно низьким ступенем зрілості; 2) безбарвним, з сильним запахом керосину вуглеводневим конденсатом, аналогічним “легкій світлій нафті”

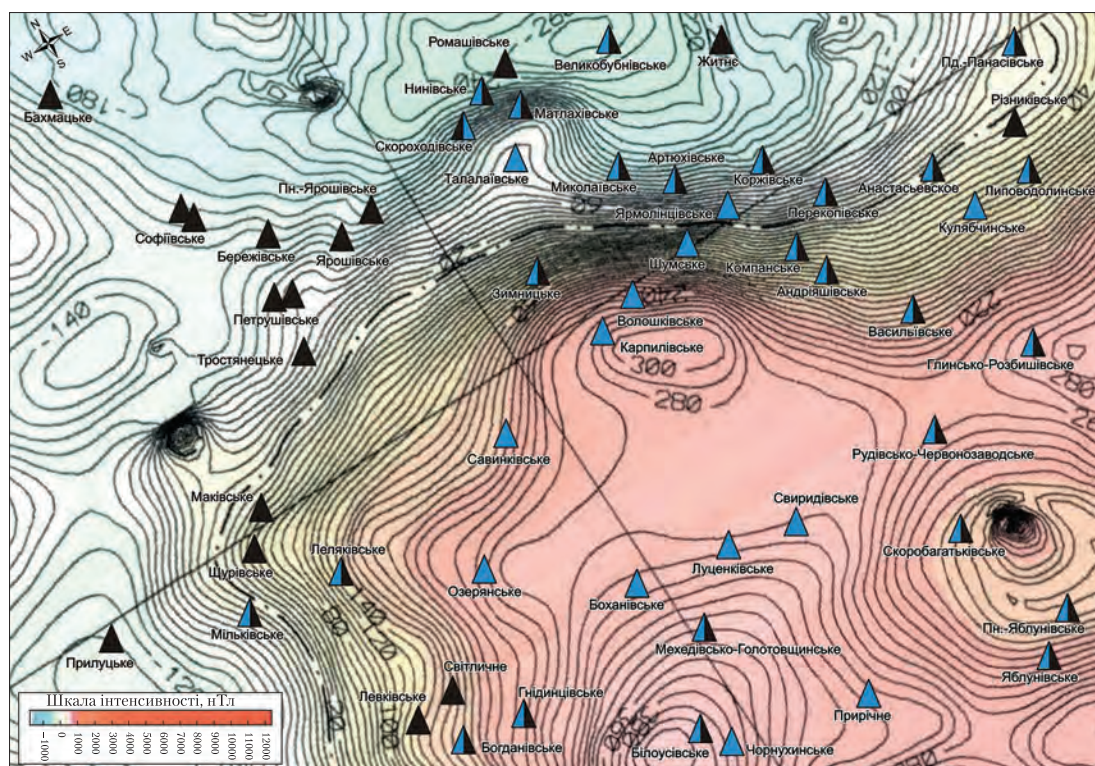
Богачовської площі. Зелена (бура) нафта і безбарвний конденсат спливають на поверхні гарячої води, яка заповнює закопушки на Центральній ділянці Узонського фумарольного поля роздільно за часом в інтервалах ізотерми 60–80 °C і 40–60 °C [9]. Сучасний нафтидогенез супроводжується інтенсивними газопроявами. У складі парогазових струменів кальдери, поряд з метаном, виявлені газоподібні вуглеводні (ВВ) до пентану включно. Разом з цим тут відомі й автономні струминні прояви водню [10].

Сучасний стан кальдери Узон характеризується зміною режиму “гарячої” ДЗ фазою “холодної” ДЗ. Зменшується інтенсивність спалювання водню і зростає його нафтидогенеруюча роль. Ізотопно-геохімічні дані свідчать про те, що основою узонської гідротермальної ВВ-генеруючої системи є висхідний потік ендегенного водню [11]. Узонська важка нафта характеризується аномально легким складом водню ( $\delta D = 258 \text{ ‰}$ ), тоді як конденсат (“легка нафта”) Узону і Богачовки, подібно конденсатам покладів глибокого залягання Дніпровсько-Донецької западини та інших рифтогенних нафтогазоносних басейнів, характеризується близьким ізотопним складом водню ( $\delta D = -98 \div -102 \text{ ‰}$ ). Такі ж значення  $\delta D$  води з водонафтових емульсій Узону з конденсатом і важкої нафти в кальдері. Водночас ізотопний склад їх водню значно полегшений порівняно з атмосферними осадками і поверхневими водами ( $\delta D = -30 \div -80 \text{ ‰}$ ). Мабуть, це обумовлено участю вільного глибинного водню, присутність якого сумісно з мантийним гелієм і ізотопно-важким метаном встановлено в парогазових потоках районів сучасного вулканізму на Камчатці, включаючи кальдеру Узон [10]. В умовах перехідного режиму (зміна “гарячої” ДЗ на “холодну”) основна частина водню окислялась, утворюючи водяну пару, з конденсацією якої і пов’язано утворення ізотопно-полегшених маломінералізованих вод (з аналогічними процесами пов’язане явище глибинної гідрогеологічної інверсії [12]). Цій конденсованій водяній парі, очевидно, конгенетичний вуглеводневий конденсат (“безбарвна нафта з кerosиновим запахом” [9]) Узону, а також Богачовського родовища з важким ізотопним складом вуглецю і водню при значеннях  $\delta^{34}\text{S}$ , які досить строго відповідають метеоритному стандарту, тобто мантийному джерелу [11]. Що стосується зеленої (що швидко буріє) важкої нафти Узонської кальдери, то, судячи за аномально легким ізотопним складом водню, її генерація обумовлена гідрогенізацією органічної речовини сучасних кальдеро-озерних осадків воднем висхідних парогазових струменів [11].

Усе сказане дає підставу розглядати Узонську кальдеру як природну модель нафтидогенезу в типовій КС експлозивної природи. Тут ми є свідками початку функціонування гідротермальної ВВ-генеруючої системи в умовах зміни режимів водневої дегазації. Попри всю відмінність конденсатних геологічних умов слід відзначити принципову схожість експлозивно-вулканогенних і ВВ-генеруючих процесів Узонської і Срібненської КС. В історії геологічного розвитку останньої (на відміну від пліоцен-четвертинної Узонської КС) виділяється дуже тривалий (що включає рифей, венд, нижній палеозой та девон) етап трапового магматизму і вулканізму, з пізньодевонською експлозивною фазою якого пов’язано утворення гігантської кальдери, що визначила розміри ( $\sim 55 \times 25$  км, площа  $\sim 1000$  км<sup>2</sup>) і конфігурацію Срібненської депресії (СД) (рис. 1–3).

На рубежі девону і карбону режим ДЗ кардинально змінюється. Вертикальний формаційний ряд відповідної частини розрізу (карбон, перм, тріас, юра, крейда, палеоген і неоген) включає рифогенно-карбонатні, різні теригенні і соленосні (нижня перм) відклади з багато-





**Рис. 1.** Срібненська депресія і її обрамлення на фрагменті “Карти аномального магнітного поля України”, висота 200 м, масштаб 1 : 1 000 000 (Т.С. Нечаєва та ін., 2002 р.)

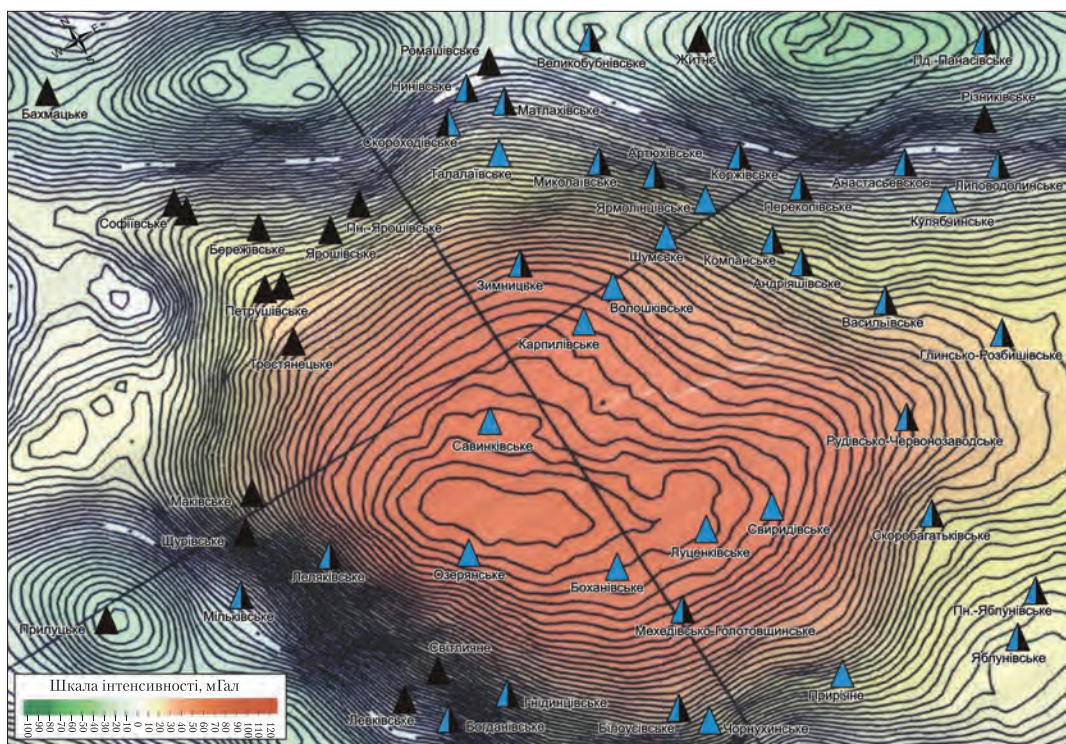
кратними криптовулканогенними проявами. До неодноразових проявів вуглеводнево-водневої ДЗ належать, зокрема, чорносланцеві фації на різних стратиграфічних рівнях і фази нафтидогенезу—нафтогазонакопичення.

Активізація конседиментаційних ендегенних факторів встановлена в ранньому і середньому карбоні, пермі, тріасі, юрі, крейді і палеогені. Про сучасну ендегенну флюїодинамічну активність, зокрема, свідчить інтенсивна гелієва аномалія у нафтогазоносних нижньовізейських карбонатних колекторах, розташованих у південно-східному сегменті СД Світличного родовища [13]. Вона була відкрита випадково, і наявні дані дають підставу припустити, що це лише фрагмент величезної аномалії, яка контролюється Срібненським візейським мегаатолом і, можливо, депресійною зоною. Гелій, що становить значний промисловий інтерес, у даному випадку важливий як супутник водню.

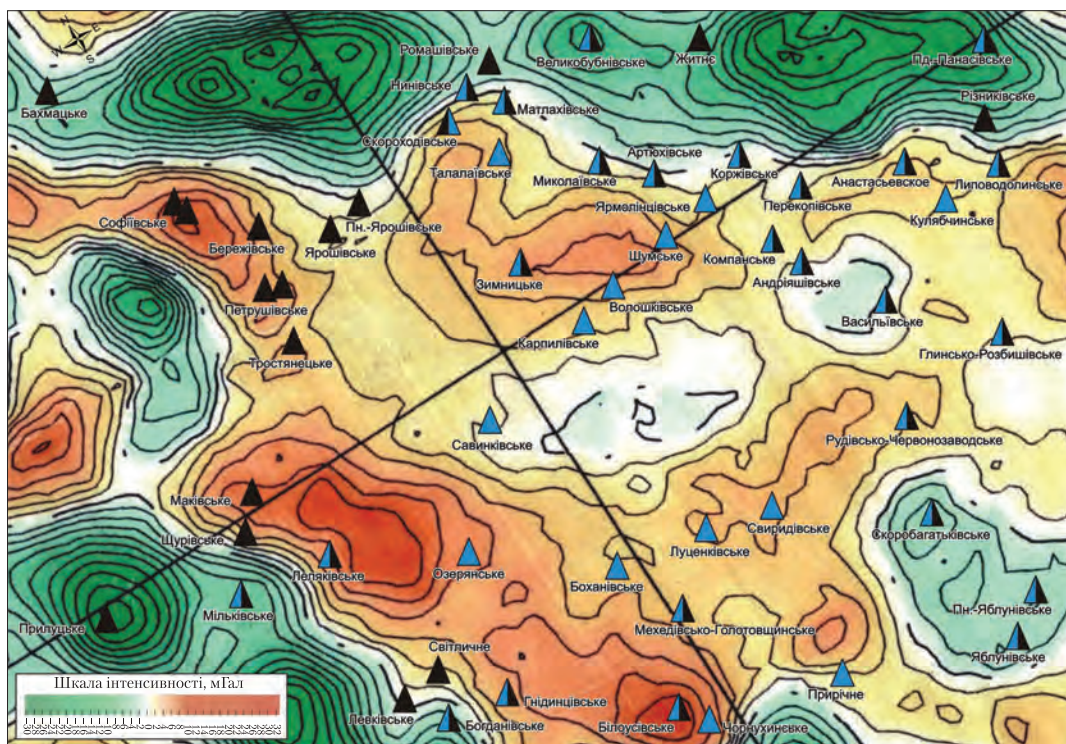
Попри всі кардинальні відмінності таких КС, як Узонська і Срібненська, слід відзначити принципову схожість приурочених до них процесів поствулканічної дегазації і пов'язаних з ними ВВ-генеруючих систем. У цьому відношенні показово зіставлення наведених вище ізотопно-геохімічних характеристик гідротермальних нафтидів Узону і північного сегмента СД, у межах якого на Сологубівській площі були відкриті нафтові і газоконденсатні поклади в нижньокам'яновугільних відкладах (рис. 4).

Як і на Узоні, нафта і газоконденсат Сологубівської площі кардинально різні за основним ізотопним показником (див. рис. 4). Виходячи з аномально важкого ізотопного складу





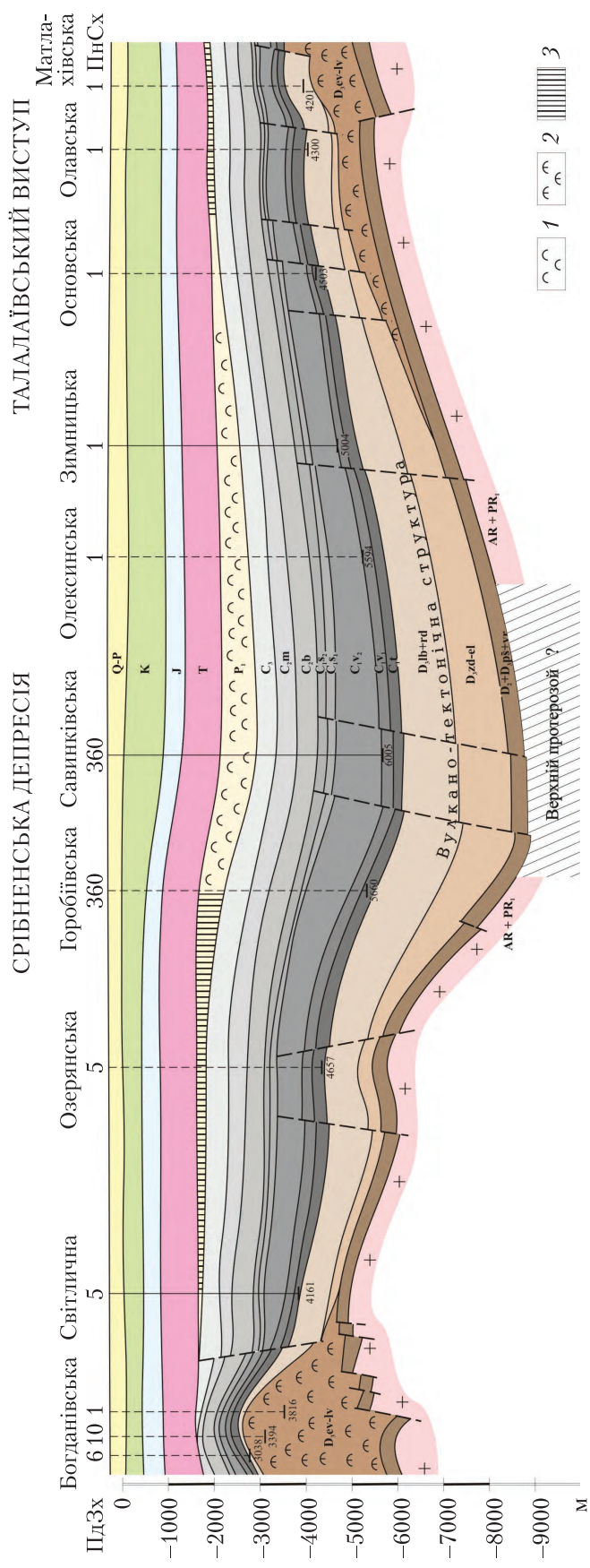
а



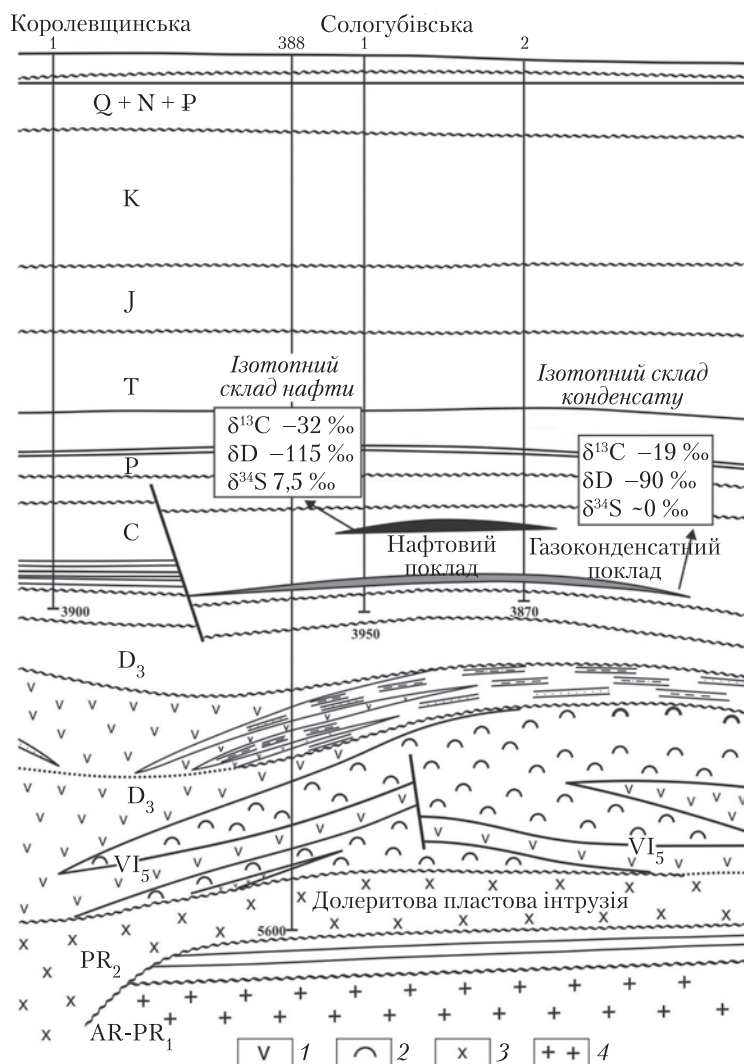
б

**Рис. 2.** Срібненська депресія і її обрамлення: а – на фрагменті “Схеми гравітаційного поля України”, масштаб 1 : 1 000 000 (Т.С. Нечаєва та ін., 2002 р.); б – на фрагменті “Карти залишкових аномалій гравітаційного поля України (R = 10 000 м)”, масштаб 1 : 1 000 000 (Т.С. Нечаєва та ін., 2002 р.)





**Рис. 3.** Геологічний розріз Срібненської депресії і її обрамлення по профілю Пирятин—Талалаївка (за Ю.О. Арсіриєм та ін., зі змінами). 1 — соленосні відклади (P<sub>1</sub>); 2 — соляні штовхи (D<sub>3</sub>); 3 — рифогенно-карбонатні фації



**Рис. 4.** Сологубівська площа: дві фази нафтогазонакопичення – два різних джерела ВВ (ДДЗ, Срібненська депресія). 1 – вулканіти; 2 – сіль; 3 – долеритова пластова інтрузія; 4 – кристалічні породи докембрійського фундаменту

вуглецю ( $\delta^{13}\text{C} = -19 \text{ ‰}$ ) і водню ( $\delta\text{D} = -90 \text{ ‰}$ ), а також складу сірки ( $\delta^{34}\text{S} \sim 0$ ), що строго відповідає метеоритному стандарту, конденсат пов'язаний з мантійними воднево-вуглеводневими флюїдами, тоді як ізотопна геохімія нафти ( $\delta^{13}\text{C} = -32 \text{ ‰}$ ,  $\delta\text{D} = -115 \text{ ‰}$ ,  $\delta^{34}\text{S} = +7,5 \text{ ‰}$ )<sup>1</sup> свідчить про нафтидогенеруючу взаємодію цих флюїдів зі збагаченими сапропелевою органічною речовиною чорними сланцями (black shales) нижнього візе.

Наведені ізотопно-геохімічні дані свідчать про принципову схожість пов'язаних з водневою дегазацією нафтидогенеруючих систем Узонської і Срібненської КС.

<sup>1</sup> Аналізи виконані в лабораторії стабільних ізотопів Наукового центру радіогеохімії навколишнього середовища (аналітики Ф.І. Березовський, Ю.Н. Деміхов, Н. Кравчук).



Про інтенсивну водневу дегазацію на різних етапах еволюції Срібненської тектоно-магматичної структури (СД і її обрамлення) свідчать також мікро- і нановключення в піщаних, карбонатних і пелітоморфних (чорносланцевих, доманікоїдних) породах продуктивних горизонтів часток самородних металів (включаючи оксифільні елементи — Al, Zn, W та ін.), природних сплавів і інтерметалідів, трасерів висхідних потоків глибинних відновлених флюїдів. Присутність серед них різноманітних мікро- і нановключень інтерметалідів і природних сплавів, а також унікальна знахідка силіциду заліза у поєднанні з геофізичними даними може розглядатись як непряме підтвердження уявлень В.Н. Ларіна [2] про металосферу і інтерметалідно-силіцидний мантійний діапіризм. Дуже інтенсивна, специфічної конфігурації Срібненська геомагнітна аномалія, у поєднанні з геохімічними індикаторами (уранові аномалії, включення самородних металів, інтерметалідів та ін.), діяльність і характер петрохімічної еволюції магматизму свідчать про можливий зв'язок Срібненської КС з таким інтерметалідно-силіцидним діапіром. Це найбільш прийнятне пояснення природи Срібненської комплексної гравітаційно-магнітної аномалії, якщо врахувати велику питому щільність і феромагнітність силіциду заліза — зюситу.

Таким чином, є підстави вважати існування у межах Срібненської КС великого гібридного гелієво-водневого родовища (групи родовищ), яке являє собою складну газову систему, що включає висхідний потік легких газів. Взаємодія цього потоку з різноманітним породним субстратом, екранування нижньопермськими соленосними відкладами, а також депонування водню в рифогенно-карбонатних масивах нижнього візе, нижнього башкиру і нижньої пермі створює умови для формування покладів легких газів. Більш того, наведені дані дають підставу розглядати Срібненську КС як полігон міжнародного значення для розробки і апробації комплексних методів освоєння невичерпних джерел ендегенного водню.

#### ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. State and forecast of the World energetic consumer basket. *Journal of the Petrotech Society "Energy Independence with global co-operation: Challenges & Solutions"*, Petrotech 2009. № 12. Commorate Issue. December, 2008.
2. Ларин В.Н. Наша Земля (происхождение, состав, строение и развитие изначально гидридной Земли). Москва: Агар, 2005. 248 с.
3. Gilat A.L., Vol A. Degassing of primordial hydrogen and helium as the major energy source for internal terrestrial processes. *Geosci. Front.* 2012. **3**, Iss. 6. P. 911–921.
4. Шестопапов В.М., Лукін А.Е., Згонник В.А., Макаренко А.Н., Ларин Н.В., Богуславский А.С. Очерки дегазации Земли. Киев, 2018. 632 с.
5. Larin N., Zgonnik V., Rodina S., Deville E., Prinzhofer A., Larin V.N. Natural molecular hydrogen seepage associated with surficial, rounded depressions on the European craton in Russia. *Nat. Resour. Res.* 2015. **24**. P. 369–383. <https://doi.org/10.1007/s11053-014-9257-5>
6. Prinzhofer A., Tahara Cisse C.S., Diallo A.B. Discovery of a large accumulation of natural hydrogen in Bourakebougou (Mali). *Int. J. Hydrog. Energy.* 2018. **43**. P. 19315–19326. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.08.193>
7. Бородзич Э.В., Короткина М.Р., Лобанов Е.В., Шмаков А.П. О происхождении кольцевых структур. *Докл. АН СССР.* 1990. **311**, № 5. С. 1081–1085.
8. Портнов А.М. Энергетика вулканов. *Природа и человек.* 2005. № 4. С. 10–11.
9. Бескровный Н.С., Лебедев Б.А. Нефтепроявление в кальдере вулкана Узон на Камчатке. *Докл. АН СССР.* 1971. **201**, № 4. С. 953–956.

10. Каменский И.Л., Лобков В.А., Прасолов Э.М. и др. Компоненты верхней мантии земли в газах Камчатки (по изотопам He, Ne, Ar, C). *Геохимия*. 1976. № 5. С. 682–695.
11. Лукин А.Е., Пиковский Ю.И. Новые данные об изотопном составе гидротермальной нефти (кальдера Узон на Камчатке). *Докл. АН*. 2004. **398**, № 1. С. 1–4.
12. Лукин А.Е. Глубинная гидрогеологическая инверсия как глобальное синергетическое явление: теоретические и прикладные аспекты. Статья 2. Тектоно-геодинамические аспекты глубинной гидрогеологической инверсии. *Геол. журн.* 2005. № 1. С. 53–69.
13. Лукин А.Е., Довжок Е.И., Книшман А.Ш., Гончаренко В.И., Дзюбенко А.И. Гелиевая аномалия в нефтегазоносных визейских карбонатных коллекторах Днепровско-Донецкой впадины. *Допов. Нац. акад. наук Укр.* 2012. № 7. С. 97–104.

Надійшло до редакції 28.05.2021

#### REFERENCES

1. State and forecast of the World energetic consumer basket. Journal of the Petrotech Society “Energy Independence with global co-operation: Challenges & Solutions”, Petrotech 2009, № 12, Commorate Issue, December, 2008.
2. Larin, V. N. (2005). Our Earth (origin, composition, structure and development of the originally hydride Earth). Moscow: Agar (in Russian).
3. Gilat, A. L. & Vol, A. (2012). Degassing of primordial hydrogen and helium as the major energy source for internal terrestrial processes. *Geosci. Front.*, 3, Iss. 6, pp. 911-921.
4. Shestopalov, V. M., Lukin, A. E., Zgonnik, V. A., Makarenko, A. N., Larin, N. V. & Bohuslavsky, A. S. (2018). Essays on Earth degassing. Kyiv (in Russian).
5. Larin, N. V., Zgonnik, V., Rodina, S., Deville, E., Prinzhofer, A. & Larin, V. N. (2015). Natural molecular hydrogen seepage associated with surficial, rounded depressions on the European craton in Russia. *Nat. Resour. Res.*, 24, pp. 369-383. <https://doi.org/10.1007/s11053-014-9257-5>
6. Prinzhofer, A., Tahara Cisse, C. S. & Diallo, A. B. (2018). Discovery of a large accumulation of natural hydrogen in Bourakebougou (Mali). *Int. J. Hydrog. Energy*, 43, pp. 19315-19326. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.08.193>
7. Borodzich, E. V., Korotkina, M. P., Lobanov, E. V. & Shmakov, A. P. (1990). About the origin of ring structures. *Dokl. AN SSSR*, 311, No. 5, pp. 1081-1085 (in Russian).
8. Portnov, A. M. (2005). Energy of volcanoes. *Priroda i chelovek*, No. 4, pp. 10-11 (in Russian).
9. Beskrovny, N. S. & Lebedev, B. A. (1971). Oil show in the caldera of the Uzon volcano in Kamchatka. *Dokl. AN SSSR*, 201, No. 4, pp. 953-956 (in Russian).
10. Kamensky, I. L., Lobkov, V. A., Prasolov, E.M. et al. (1976). Components of the earth's upper mantle in the gases of Kamchatka (by isotopes He, Ne, Ar, C). *Geochemistry*, No. 5, pp. 682-695 (in Russian).
11. Lukin, A. E. & Pikovskiy, Y. I. (2004). New data on the isotopic composition of hydrothermal oil (Uzon caldera in Kamchatka). *Dokl. AN*, 398, No. 1, pp. 1-4 (in Russian).
12. Lukin, A. E. (2005). Depth hydrogeologic inversion as a global synergetic phenomenon: theoretical and applied aspects. Paper 2. Tectonic-geodynamics aspects of hydrogeologic inversion. *Geol. J.*, No. 1, pp. 53-69 (in Russian).
13. Lukin, A. E., Dovzhok, E. I., Knishman, A. Sh., Goncharenko, V. I. & Dzyubenko, A. I. (2012). Helium anomaly in petroliferous Visean carbonate reservoirs of the Dnieper-Donets Depression. *Dopov. Nac. akad. nauk Ukr.*, No. 7, pp 97-104 (in Russian).

Received 28.05.2021

O.Y. Lukin<sup>1</sup>, <https://orcid.org/0000-0003-4844-1617>  
V.M. Shestopalov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine, Kyiv

<sup>2</sup>Radio-Environmental Centre of the NAS of Ukraine, Kyiv

E-mail: chv\_ukrdgri@ukr.net

SRIBNIAN RING STRUCTURE (DNEIPER-DONETS DEPRESSION) –  
A POSSIBLE TESTING GROUND FOR THE DEVELOPMENT  
OF THE HYDROGEN POTENTIAL OF THE EARTH'S INTERIOR

Tectonic-volcanic ring structures correspond to the notion of tube-de-gassing most completely. Endogenic hydrogen is considered as the leading factor of their formation and lithogeodynamic evolution at the both stages “hot” (burning of endogenic hydrogen) and “cold” (ascending migration of “light gases”) phases. Hydrogen, helium, and hybride fields must be connected most of all wit such structures. Among them, megacalderas type with long-term “cold” degassing stage are of the priority of prospecting interest. Sribnian depression (within Dnieper-Donets depression serves as the example of such structures. It is genetically related to the explosion of a volcanic caldera and is characterized by ancient origin (Proterozoic) and long-term geologic evolution on the background of the ascending light gases migration. Intensive hydrogen degassing through the Sribnean ring structure is confirmed by micro- and nano-inclusions in the black-shale domanicoid rocks in the form of particles of native metals (including oxyphile elements – Al, Zn, W, and others) natural alloys and intermetallides – the tracers of ascending flows of deep reduced fluids. The paper deals with comparative characteristics of Uzon volcanic caldera (East Kamchatka) and Sribnian ancient volcanic-tectonic ring structure that had special significance in the geological history of the Dnieper-Donets aulacogen. There are all reasons to consider this structure as the exclusive prospecting object for endogenic hydrogen.

**Keywords:** *endogenic hydrogen, Earth degassing, ring structures.*