

Fault dislocations as fluid barriers of hydrocarbon deposits near salt domes in the Dnipro-Donets Depression, Ukraine

Andrey Yakovlev¹, Iryna Samchuk²

¹ LLC 'NVF GERA LTD' (Kharkiv, Ukraine)

² V. N. Karazin Kharkiv National University (Kharkiv, Ukraine)

article info

key words

Dnipro-Donets Depression, Devonian salt diapirs, Hydrocarbon deposits, Anticlinal structures, Fluid seals, Tectonite formations.

correspondence to

Iryna Samchuk; V. N. Karazin Kharkiv National University; 4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022 Ukraine;

Email: fedot-ira@ukr.net;

orcid: 0000-0002-8117-6117

article history

Submitted: 26.06.2024. Revised: 30.06.2024. Accepted: 30.06.2024

cite as

Yakovlev, A., I. Samchuk. 2024. Fault dislocations as fluid barriers of hydrocarbon deposits near salt domes in the Dnipro-Donets Depression, Ukraine. *GEO&BIO*, 26: 104–112. [In Ukrainian, with English summary]

abstract

Within the Dnipro-Donets aulacogen, Devonian salt stocks (diapirs) are widely developed. The suprastock, interstock, and nearstock areas associated with these diapirs have consistently drawn the interest of researchers in the Dnipro-Donets Depression for hydrocarbon exploration. Uprastock and interstock areas, primarily associated with anticlinal structures, have been the primary targets for exploration. Numerous significant hydrocarbon accumulations, including large and unique deposits, have been discovered in these structures. These deposits are classified as bedded, massive-bedded, and dome-shaped, with lithological or tectonic confinement. Sealing rocks are the Permian chemogenic sedimentary succession or clay-rich rocks at various stratigraphic levels of the overlying rocks. Modern seismic methods effectively identify, outline, refine, and prepare such structures for drilling, with a geological success rate of approximately 0.6. Nearstock areas encompass parts of salt-dome structures with unique characteristics resulting from salt diapirism. These areas often feature hydrocarbon traps only a few hundred meters wide, characterized by low seismic reliability due to salt-induced wavefield distortions and complex structures. The geological success rate for hydrocarbon exploration in these challenging conditions is approximately 0.12. Four main types of hydrocarbon traps are identified in nearstock areas: reefal deposits in the Upper Pennsylvanian Araukarytova Formation and the Early Permian Slovians'k Formation; dikes in the Upper Pennsylvanian and Lower Permian sedimentary rocks; tectonic satellite blocks including Serpukhovian, Bashkirian, and Upper Pennsylvanian rocks; and carbonate banks in the Lower Permian deposits. Nearstock traps are confined by salt stocks or by radial faults and salt filling radial fractures. Caps include salt diapir overhangs and Lower Permian chemogenic rocks. In the absence of robust fluid seals, nearstock traps often prove empty, likely due to poor sealing properties at the salt diapir-collector contact. Despite this, nearstock hydrocarbon sedimentary rocks with pre-Cenozoic salt formation are found in various Dnipro-Donets Depression regions.

Диз'юнктивні порушення як флюїдоупори покладів вуглеводнів приштокових блоків Дніпровсько-Донецької западини (Україна)

Андрій Яковлев, Ірина Самчук

Резюме. В межах Дніпровсько-Донецького авлакогену поширені штоки девонської солі, які викликають значний інтерес в контексті досліджень покладів вуглеводнів. У статті розглянуто надштокові, міжштокові та приштокові ділянки, пов'язані з соляними діапірами, як потенційні об'єкти для пошуків вуглеводнів. Надштокові та міжштокові ділянки, переважно антиклінальні структури, були основними об'єктами пошукових робіт. На таких структурах виявлено значні промислові поклади вуглеводнів, зокрема великі родовища, такі як Шебелинське та Західно-Хрестищенське. Поклади вуглеводнів цих структур класифікуються як пластові та масивно-пластові. Сучасні методи сейсмічних досліджень дозволяють легко виявляти та оконтурювати ці структури. Приштокові ділянки, які характеризуються складною будовою і спотворенням сейсмічного поля, мають низький коефіцієнт геологічного успіху (~0,12). Вони поділяються на чотири основні типи пасток, залежно від геологічних умов. Флюїдоупори таких пасток можуть бути різні, включно з козирками соляних діапів та хомогенні породи нижньої пермі. Дослідження показали, що екрануючі властивості скидів забезпечуються їхнім генезисом і заповненням. Тектоніти, які формуються при переміщенні блоків, мають високу флюїдоупорну здатність. Приштокові ділянки поділяються на дві групи: з інтенсивним тектоногенезом і численними блоками-пастками, та з більш спокійним тектоногенезом і меншою кількістю блоків. Приклади успішних пошуків вуглеводнів в приштокових ділянках зазначених типів наведені для Карайкозівського та Синівського діапів. У цих родовищах виявлено високопродуктивні поклади вуглеводнів, тоді як ділянки без флюїдоупорів залишаються непродуктивними. Спокійні тектонічні умови, як на Пісочанському діапіві, також можуть забезпечувати наявність покладів вуглеводнів. Стаття демонструє важливість диз'юнктивних порушень-флюїдоупорів для утворення покладів вуглеводнів в приштокових умовах. Рекомендується зосереджувати пошуково-розвідувальні роботи на ділянках, де продуктивні стратиграфічні комплекси перекриваються такими порушеннями. Це дозволяє зменшити вплив соляного масиву на сейсмічний запис і точно прогнозувати розповсюдження покладів.

Ключові слова: Дніпровсько-Донецька западина, девонські соляні штоки, поклади вуглеводнів, приштокові ділянки, флюїдоупори, тектонічно екрановані пастки.

Адреса для зв'язку: Ірина Самчук; Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна; майдан Свободи 4, Харків, 61022 Україна; Email: fedot-ira@ukr.net; orcid: 0000-0002-8117-6117

Вступ

В межах Дніпровсько-Донецького авлакогену широко розвинені штоки (діапіри) девонської солі. Пов'язані з діапірами надштокові, міжштокові та приштокові ділянки перманентно викликають зацікавленість дослідників Дніпровсько-Донецькою западиною (ДДЗ) для пошуків покладів вуглеводнів. Вуглеводневі ресурси регіону відіграють важливу роль в енергетичній незалежності України, що підвищує актуальність досліджень геологічних структур, пов'язаних з діапірами. Пошук і розробка вуглеводневих родовищ у цих областях сприяє покращенню енергетичної безпеки та економічного розвитку країни. Застосування сучасних методів сейсмічних досліджень дозволяє ефективно виявляти, оконтурювати та готувати до буріння майже всі типи структур, за виключенням структур розташованих у приштокових блоках, про які і йтиметься у статті.

Різноманітні методи, включаючи буріння, використовуються для визначення і підтвердження наявності вуглеводнів у приштокових ділянках. Вивчення таких ділянок дозволяє краще зрозуміти геологічні процеси, що призводять до утворення вуглеводневих покладів, а також вдосконалити методи їх виявлення та розробки. Дослідження, проведені на родовищах, таких як Розпашнівське, Чутівське, Новоукраїнське, Західно-Хрестищенське, Карайкозівське, Червоноярське тощо, підтверджують значний потенціал цих структур для виявлення нових покладів вуглеводнів.

Метою роботи є дослідження геологічних умов формування та особливостей будови приштокових структур Дніпровсько-Донецької западини, а також визначення їхнього можливого потенціалу для виявлення і розробки вуглеводневих покладів. Задачі дослідження: визначення розломів, які сприяють утворенню вуглеводневих покладів та окреслення можливого потенціалу приштокових структур для накопичення вуглеводнів.

Стан розробки питання

Надштокові та міжштокові ділянки, до яких в основному приурочені антиклінальні структури, були першочерговими об'єктами пошукових робіт. На структурах такого типу відкрито значну кількість промислових скупчень вуглеводнів, в тому числі крупні і унікальні за запасами (Шебелинське, Західно-Хрестищенське, Єфремівське, Кегичівське, Мелихівське, Яблунівське та ін.) [Samchuk 2022]. За типом, поклади надштокових та міжштокових ділянок належать до пластових, масивно-пластових, склепінних, з літологічним або тектонічним обмеженням. Флюїдоупорами слугують породи хомогенної товщі пермської системи або глинисті відклади на різних стратиграфічних рівнях перекриваючих порід. Сучасними методами сейсмічних досліджень структури такого типу достатньо легко виявити, оконтурити, уточнити та підготувати до буріння [Samchuk 2022]. Структури в основному характеризуються високим коефіцієнтом геологічного успіху до $\sim 0,6$ [Parkhomovsky & Kuznetsova 1985].

До приштокових ділянок відносяться окремі частини солянокупольних структур з найбільш яскраво вираженими унікальними рисами будови, зумовленими впливом процесів соляного діапїризму. Ширина приштокових блоків-пасток вуглеводнів часто не перевищує декількох сотень метрів. Приштокові ділянки характеризуються низькою достовірністю результатів сейсмічних досліджень, через спотворення сіллю хвильового поля та доволі складною будовою [Visochansky *et al.* 2022]. В силу їхньої складної та слабко передбачуваної будови, ймовірність геологічного успіху пошуків покладів вуглеводнів (ВВ) в подібних геологічних умовах не висока, коефіцієнт геологічного успіху $\sim 0,12$ [Istomin *et al.* 1987]. Виділяється чотири основних типа пасток ВВ у приштокових ділянках: шлейфові у відкладах араукаритової (верхній карбон) та слов'янської світ (нижня перм); задири у відкладах нижньої частини пермської та верхньої частини кам'яновугільної систем; тектонічні блоки-сателіти, що охоплюють серпухівські, башкирські та верхньокам'яновугільні відклади; карбонатні банки у відкладах нижньої пермі [Visochansky *et al.* 2022].

За здійсненням пластів приштокові пастки обмежені козирками або ніжкою соляних штоків, а на флангах — радіальними до штоку порушеннями або сіллю штоків у разі, коли вона заповнює радіальні розриви, утворюючи своєрідні затоки. Покришками можуть бути козирки соляних діапїрів і хомогенні породи нижньої пермі.

У разі відсутності «козиркової солі» або інших потужних витриманих пластів-флюїдоупорів, приштокові пастки тектонічно екранованого або напівантиклінально типу, часто виявляються порожні (наприклад Бригадирівський, Валківський, Колонтаївський діапїри північної прибортової зони та Позняківський, Ісачківський, Ромоданівський діапїри південної прибортової зони). Основною причиною цього явища, скоріш за все, є слабкі екрануючі властивості контакту соляного діапїру та пласта-колектора.

На відміну від зазначених прикладів, в різних районах ДДЗ, також в аналогічних «безкозиркових» умовах, виявлені приштокові поклади, із заляганням солі у докайнозойських відкладах. Зокрема поклади такого типу в північній прибортовій зоні ДДЗ у нижньокам'яновугільному та верхньодевонському комплексі відкриті в приштокових блоках Карайкозівського та Синівського діапїрів, а в приосьовій — Пісочанському діапїрі [Visochansky *et al.* 2022]. Аналіз структурно-тектонічної будови свідчить про те, що виявлені поклади відносяться до пластового, тектонічно-екранованого типу, а покришками слугують скиди амплітудою $\sim 50\text{--}600$ м, що латерально перекривають пастки.

Гіпсометрично вище від скидів-флюїдоупорів, кількість покладів різко зменшується і вони вже стають локально-обмеженими, тектонічно або літологічно екранованими на периферії, без контактування з соляними діапірами. Часто пастки, що розташовані над такого роду скидами-флюїдоупорами, взагалі не вмішують скупчень вуглеводнів [Visochansky *et al.* 2022].

Скиди-флюїдоупори можуть падати як в напрямку від соляного діапіру в бік занурення структур, тобто відносяться до згідного типу, так і навпаки — в протилежному напрямку від занурення та відноситися до незгідного типу. Основним критерієм екранування є латеральне та повне перекриття потенційної пастки в плані.

Викладення основного матеріалу

Екрануючі властивості скиду забезпечуються деякими особливостями їхнього генезису та заповнення ділянки «зіяння» площини скидача. Під час переміщення блоків на площині скидача формуються так звані тектоніти, з достатньою для екранування покладів флюїдоупорною здатністю (проникність від $10 \div 15$ до 20 м^2) [Kharchenko & Maslyuk 2015], що за класифікацією А. А. Ханіна відносяться до груп від С до А (середня–дуже висока). На ділянці контакту диз'юнктиву зі штоком не виключається заповнення скидача кам'яною сіллю, що підвищує його екрануючі властивості.

Умовно приштокові ділянки можна поділити на два типи: ті, що сформувалися за рахунок інтенсивного прояву соляного тектоногенезу зі значною кількістю окремих диз'юнктивних порушень та тектонічно екранованих блоків-пасток, та ті, що сформувалися в більш спокійному тектоногенезі в основному з плікативними формами залягання та невеликою кількістю окремих блоків-пасток.

Прикладом збереження покладів за рахунок «скидів-флюїдоупорів», з інтенсивним тектоногенезом є приштокові родовища вуглеводнів Карайкозівське, Підлісківське та Куличихинське, приурочених відповідно до Карайкозівського та Синівського діапірів. Приштокові ділянки цих родовищ зазнали суттєвого впливу з боку соляних діапірів. Бурінням та сейморозвідувальними роботами виявлено досить густу та високоамплітудну сітку диз'юнктивів, як згідного так і незгідного типів.

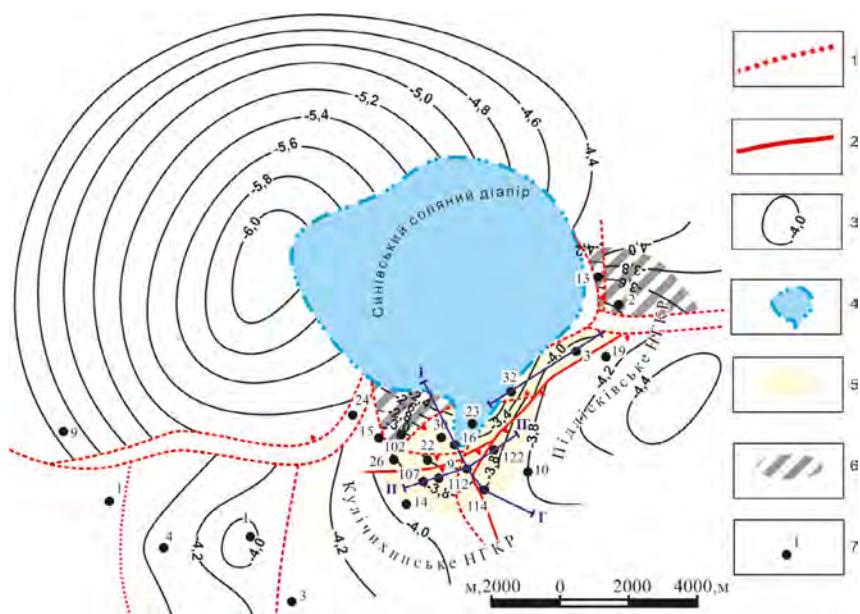


Рис. 1. Синівський соляний діапір Куличихинського нафто-газоконденсатного родовища (структурна карта відкладів візейського ярусу). Позначення: 1 — скиди-екрани пасток ВВ; 2 — скиди-флюїдоупори; 3 — ізогіпси відкладів візейського ярусу; 4 — межі соляного штоку; 5 — продуктивні блоки, перекриті скидами-флюїдоупорами; 6 — непродуктивні блоки, не перекриті скидами-флюїдоупорами 7 — свердловина.

Fig. 1. Synivsky Salt Diapir of the Kulychykhynsky oil and gas condensate deposit (structural map of Visean deposits). Legend: 1 — fault that are screens of hydrocarbon traps; 2 — faults that are fluid barriers; 3 — isolines of Visean deposits; 4 — boundaries of the salt stock; 5 — productive blocks covered by fault fluid barriers; 6 — non-productive blocks not covered by fault fluid barriers; 7 — well.

В тектонічних блоках Синівського діляпіру (рис. 1, 2), що перекриті скидами-флюїдоупорами виявлені, розвідані та давно експлуатуються високопродуктивні поклади вуглеводнів. І навпаки, в блоках, що не «перекриваються» в плані скидами подібного типу, покладів ВВ не виявлено.

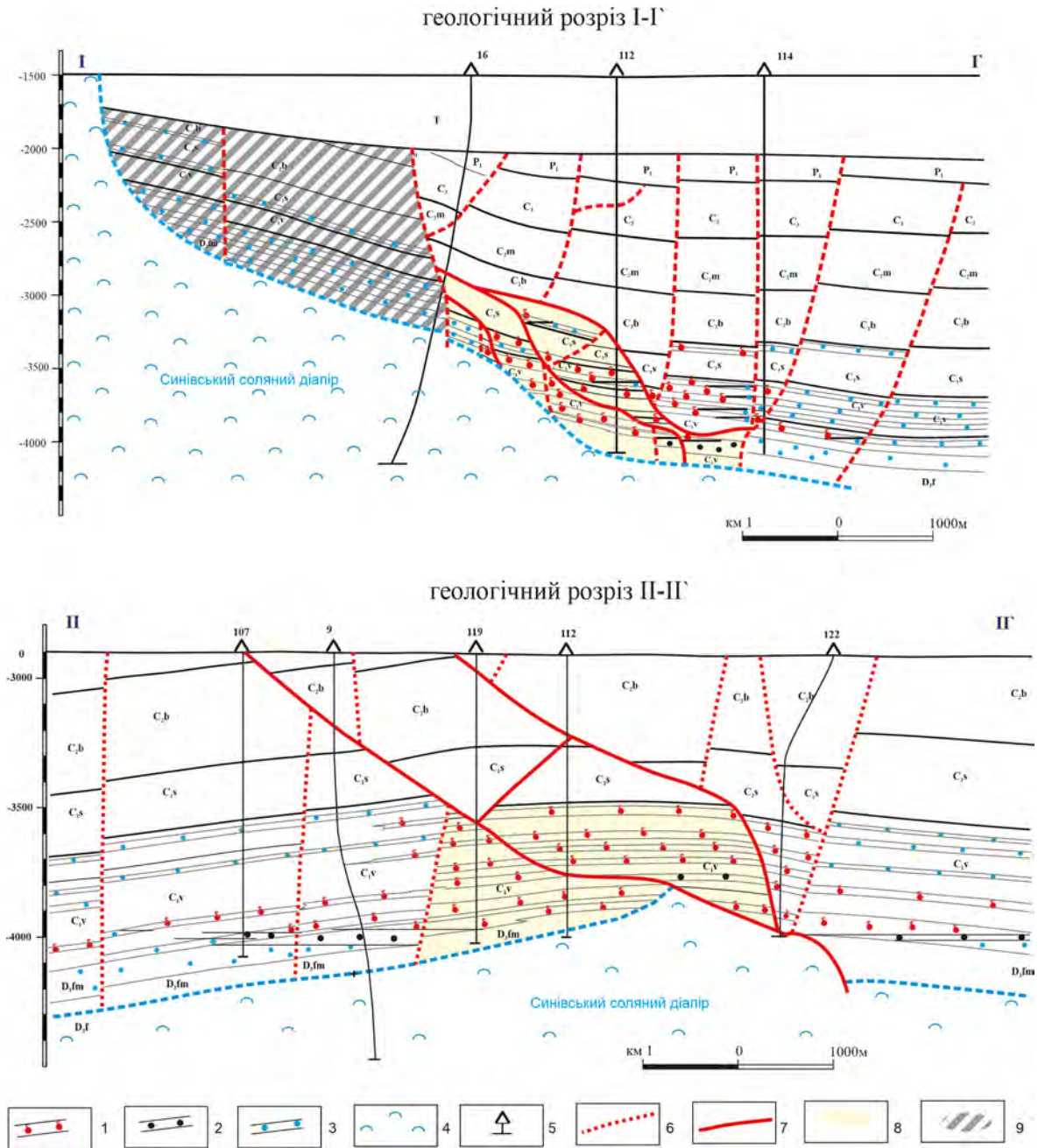


Рис. 2. Геологічні розрізи Куличихинського нафто-газоконденсатного родовища. Позначення: 1 — газ; 2 — нафта; 3 — вода; 4 — сіль; 5 — свердловина; 6 — скиди-екрани пасток вуглеводнів; 7 — скиди-флюїдоупори; 8 — продуктивні блоки, перекриті скидами-флюїдоупорами; 9 — не продуктивні блоки не перекриті скидами-флюїдоупорами.

Fig. 2. Geological sections of the Kulychykhynsky oil and gas condensate deposit. Legend: 1 — gas; 2 — oil; 3 — water; 4 — salt; 5 — well; 6 — discharges shielding hydrocarbon traps; 7 — fluid barriers; 8 — productive blocks covered by fluid barriers; 9 — non-productive blocks not covered by fluid barriers.

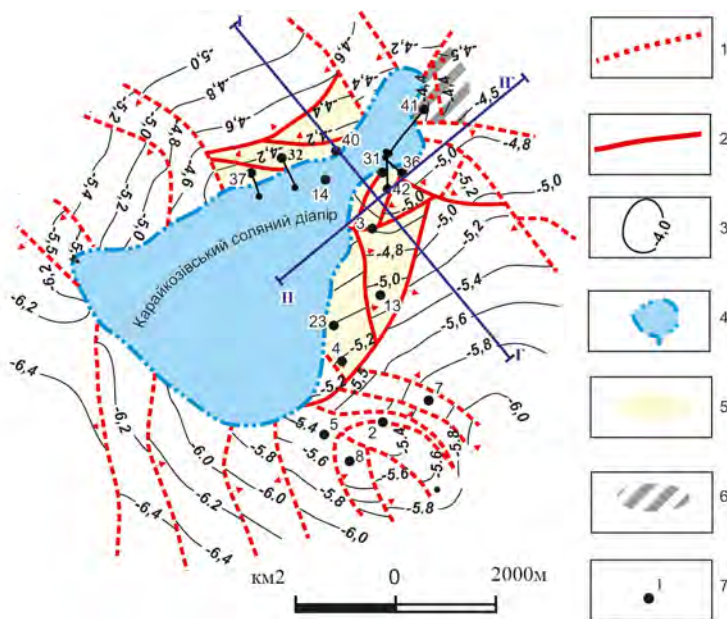


Рис. 3. Карайкозівський соляний діяпір Карайкозівського нафто-газоконденсатного родовища (структурна карта відкладів візейського ярусу). Позначення: 1 — скиди-екрани пасток ВВ; 2 — скиди-флюїдоупори; 3 — ізогіпси відкладів візейського ярусу; 4 — межі соляного штоку; 5 — продуктивні блоки, перекриті скидами-флюїдоупорами; 6 — не продуктивні блоки, що не перекриті скидами-флюїдоупорами; 7 — свердловина.

Fig. 3. Karaykoziv salt diapir of the Karaykoziv oil and gas deposit (structural map of Visean deposits). Legend: 1 — hydrocarbon trap discharge screens; 2 — fluid barriers; 3 — isolines of Visean deposits; 4 — boundaries of the salt plug; 5 — productive blocks covered by fluid barriers; 6 — non-productive blocks not covered by fluid barriers; 7 — well.

3 — isolines of Visean deposits; 4 — boundaries of the salt plug; 5 — productive blocks covered by fluid barriers; 6 — non-productive blocks not covered by fluid barriers; 7 — well.

Поклади перекриті скидами-флюїдоупорами на Куличихинському нафто-газоконденсатному родовищі виявлені в пластах фаменського ярусу верхньодевонського відділу та верхньовізейському під'ярусі нижньокам'яновугільного відділу. Поклади фаменського ярусу приурочені до піщаних пластів колекторів з ефективною товщиною від 5 до 30 м, пористістю до 26–28% (граничне значення 8%) при проникності $1 \div 1200 \times 10^{-15} \text{ м}^2$. Початкові дебіти газу досягали 100–200 тис. м³/добу, а початкові запаси окремих блоків складають 200–600 млн м³. У непродуктивних пастках, що не перекриваються скидами-флюїдоупорами водоносні породи-колектори характеризуються ідентичними, високими фільтраційно-емнісними характеристиками (Неф — 20–26 м, пористість — 15–20%). Тобто можна констатувати, що саме через відсутність скиду-флюїдоупору вуглеводні у цих пастках не затримувалися.

Аналогічна ситуація відмічається і для піщаних пластів-колекторів візейського ярусу. Наприклад, горизонт В-20. В пастках, що вміщують поклади ВВ, та в непродуктивних пастках пористість складає 10–21% (граничне значення 8,5%), ефективна товщина — 2–10 м, пласт характеризується витриманістю по латералі, літологічно ущільнення або заміщення не зафіксовано. Початкові дебіти газу досягали 500 тис. м³/добу. Схожою геологічною будовою властиво і Підлісківському нафто-газоконденсатному родовищі.

На Карайкозівському родовищі (рис. 3–4) в східній та західній приштокових ділянках встановлено порядку 20 високопродуктивних покладів у відкладах візейського та серпухівського ярусів. А на ділянці блоку свердловини № 41, що не перекритий в плані скидами-флюїдоупорами, виявлено тільки два невеликих поклади вірогідно літологічно екранованого типу без контактування зі стінкою штоку. Породи-колектори візейського ярусу (В-14 ÷ В-24–25) представлені пісковиками з високими колекторськими властивостями. Пористість окремих пластів від 9 до 17% (граничне значення — 7%), ефективна товщина 3–21 м, початкові дебіти газу склали 200–350 тис. м³/добу. А початкові розвідані запаси газу деяких покладів перевищують 1000 млн м³.

При цьому найбільш продуктивні пласти-колектори достатньо добре розповсюджені по латералі (без суттєвих ущільнень та заміщень) та мають витримані колекторські властивості. Породи-колектори серпухівського ярусу також достатньо добре витримані по площі.

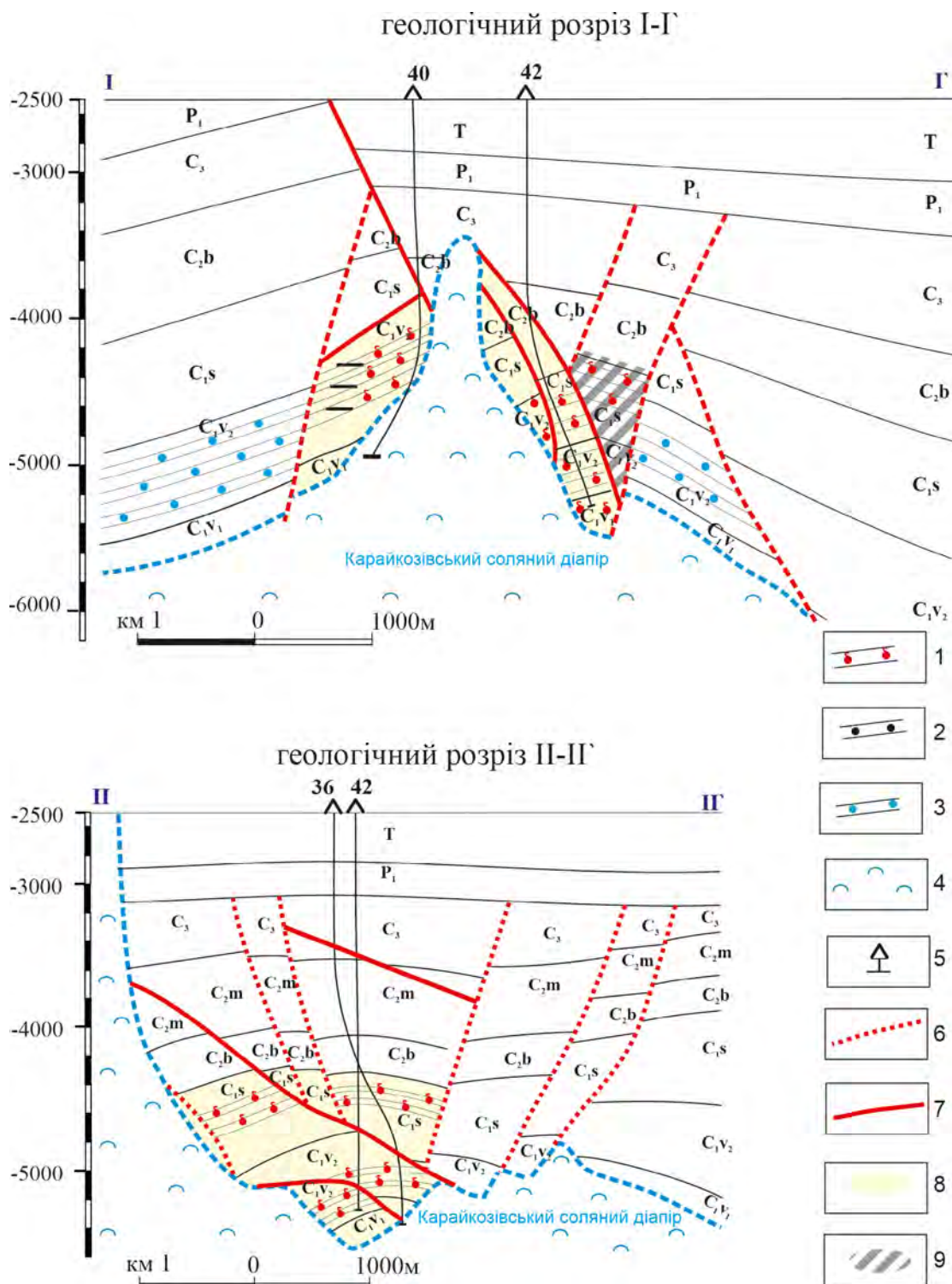


Рис. 4. Геологічні розрізи Карайкозівського нафто-газоконденсатного родовища. Позначення: 1 — газ; 2 — нафта; 3 — вода; 4 — сіль; 5 — свердловина; 6 — скиди-екрани пасток вуглеводнів; 7 — скиди-флюїдоупори; 8 — продуктивні блоки, перекриті скидами-флюїдоупорами; 9 — не продуктивні блоки, не перекриті скидами-флюїдоупорами.

Fig 4. Geological sections of the Karaykoziv oil and gas deposit. Legend: 1 — gas; 2 — oil; 3 — water; 4 — salt; 5 — well; 6 — hydrocarbon trap discharge screens; 7 — fluid barriers; 8 — productive blocks covered by fluid barriers; 9 — non-productive blocks not covered by fluid barriers.

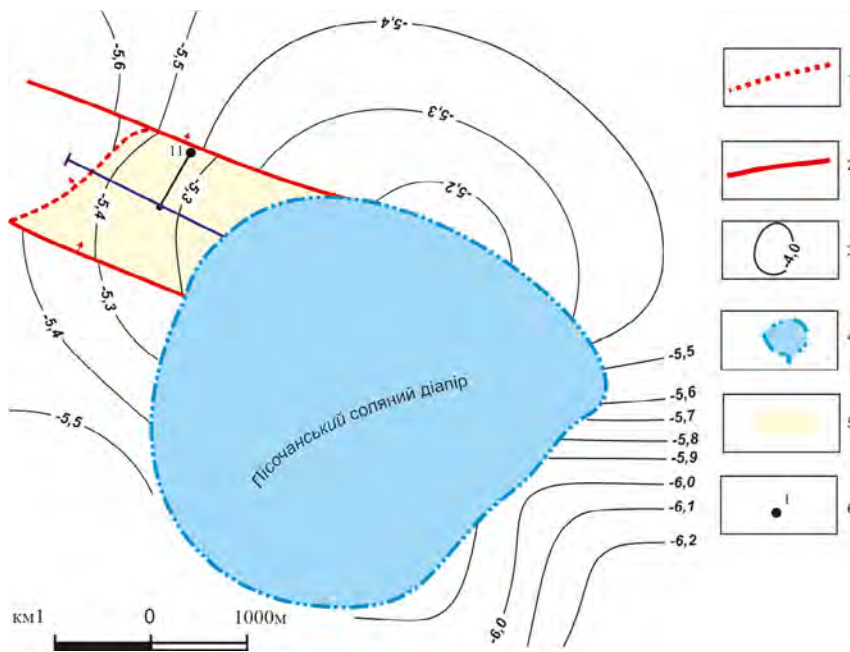


Рис. 5. Пісочанський соляний діапір (структурна карта відкладів візейського ярусу). Позначення: 1 — скиди-екрани пасток ВВ; 2 — скиди-флюїдоупори; 3 — ізогіпси відкладів візейського ярусу; 4 — межі соляного штоку; 5 — продуктивні блоки, перекриті скидами-флюїдоупорами; 6 — свердловина.

Fig. 5. Pischanchansky salt diapir (structural map of Visean deposits). Legend: 1 — hydrocarbon trap discharge screens; 2 — fluid barriers; 3 — isolines of Visean deposits; 4 — boundaries of the salt plug; 5 — productive blocks covered by fluid barriers; 6 — well.

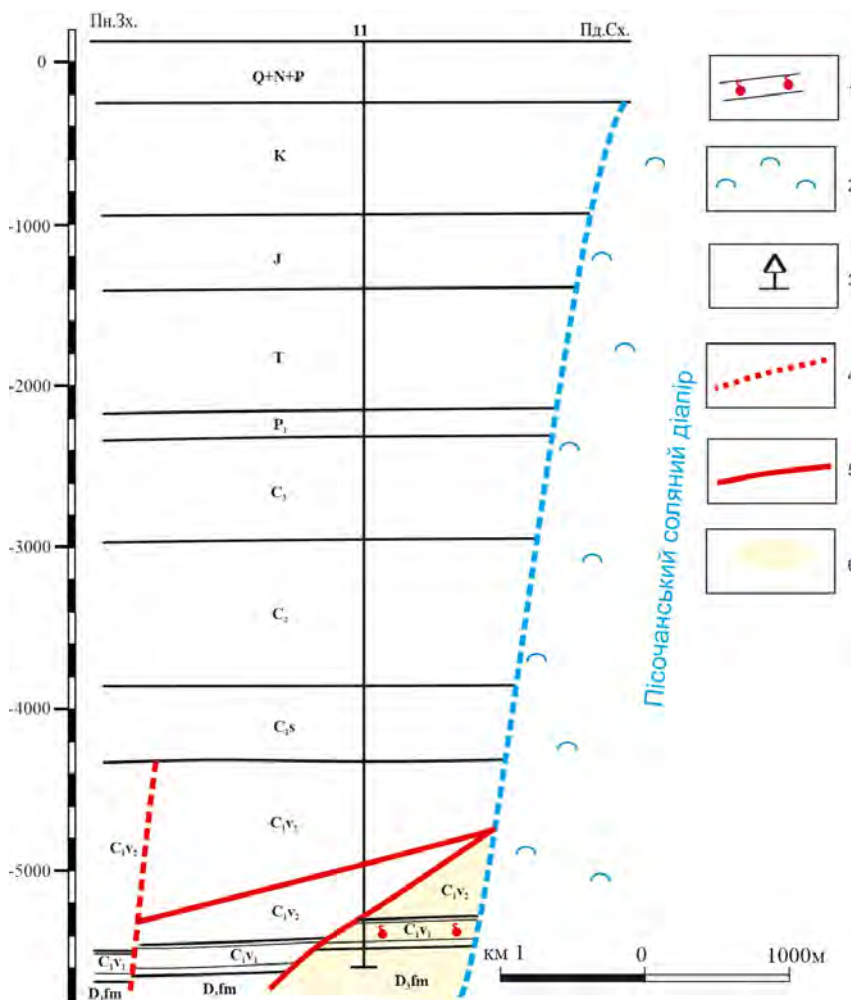


Рис. 6. Пісочанський соляний діапір. Геологічний розріз. Позначення: 1 — газ; 2 — сіль; 3 — свердловина; 4 — скиди-екрани пасток вуглеводнів; 5 — скиди-флюїдоупори; 6 — продуктивні блоки, перекриті скидами-флюїдоупорами.

Fig. 6. Pischanchansky salt diapir. Geological section. Legend: 1 — gas; 2 — salt; 3 — well; 4 — hydrocarbon trap discharge screens; 5 — fluid barriers; 6 — productive blocks covered by fluid barriers.

Пористість складає 9–14 % (граничне значення — 8,5 %), ефективна товщина 2–14 м. Початкові дебіти газу досягали 300 тис. м³/добу, нафти — 43 м³/добу.

Ілюстрацією достатньо спокійних тектонічних приштокових умов, де виявлено поклади, що контактують з безкозирковим штоком та екрануються тектонічним порушенням, є Пісочанський діапир (рис. 5–6). Поклад горизонту В-21–22 перекривається затокоподібним скидом. Амплітуда скиду незначна (~50–100 м). Це свідчить про те, що і малоамплітудні скиди забезпечують достатньо високі екрануючі властивості для збереження покладів вуглеводнів. Горизонт В-21–22 складений пісковиком з пористістю 7–9 % (граничне значення — 6,5%), ефективною товщиною 19 м. При випробування отримано ~20 тис. м³/добу.

Висновки

Наведені результати досліджень показують значну важливість структурних та тектонічних факторів у формуванні покладів вуглеводнів у приштокових умовах Дніпровсько-Донецької западини. Головним фактором утворення продуктивних пасток є наявність диз'юнктивних порушень, що виконують функцію флюїдоупорів. Ці порушення відіграють ключову роль у герметизації пасток.

Приклади, що були висвітлені у статті дозволяють прослідкувати закономірності формування скупчень вуглеводнів в приштокових безкозиркових умовах. Одним із критеріїв утворення покладів ВВ є наявність над пастками диз'юнктивних порушень-флюїдоупорів. Як наслідок, при однакових пасткових умовах, першочергово для пошуково-розвідувального буріння рекомендується приділяти увагу ділянкам, де продуктивні стратиграфічні комплекси перекриваються диз'юнктивними порушеннями — флюїдоупорами. Подібні диз'юнктиви часто трасуються від штоків на значні відстані, що забезпечує зменшення впливу соляного масиву на сейсмічний запис та, як наслідок, дозволяє достатньо впевнено виявляти та прогнозувати їхнє розповсюдження.

Декларації

Фінансування виконано в рамках власної ініціативи авторів поза плановими бюджетними темами і грантами.

Конфлікт інтересів. Автори не мають жодних конфліктів інтересів, які могли вплинути на зміст статті.

References

- Istomin, A. N., N. F. Brynza, T. S. Tsupilo, M. G. Ulyanov. 1987. Methodology for gas trap exploration in near-diapir zones of the Dnipro-Donets Basin. *Geology of Oil and Gas*, 3: 1–101. [Russian]
- Kharchenko, N. V., A. A. Maslyuk. 2015. On the screening properties of tectonic faults. *Geological Journal*, 3: 44–50. [Russian] <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2015.3.139341>
- Parkhomovsky, O. A., T. B. Kuznetsova. 1985. Dependence of exploration success on structural dimensions in the Dnipro-Donets Basin. *Oil and Gas Industry*, 2: 9–11. [Russian]
- Samchuk, I. 2022. The development of ideas on and prospects of oil and gas capacity of the south-eastern part of the Dnipro-Donets Depression. *GEO&BIO*, 23: 77–86. [Ukrainian] <https://doi.org/10.15407/gb2307>
- Visochansky, I. V., A. O. Yakovlev, I. M. Samchuk. 2022. Conditions for the formation of non-anticlinal hydrocarbon traps in near-diapir zones of the southeastern Dnipro-Donets Depression. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series Geology. Geography. Ecology*, 56: 24–48. [Ukrainian] <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-02>