

РОЛЬ МОДЕЛЕЙ ПАСТОК У ВИРІШЕННІ ЗАВДАНЬ СУЧАСНОЇ НАФТОГАЗОВОЇ ГЕОЛОГІЇ

Владимиров Р.В.

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна
майд. Свободи, 4, 61022, Харків
postgraduate241991@gmail.com

У статті висвітлено актуальні проблеми розвитку нафтогазової геології в контексті необхідності вдосконалення теоретичних моделей пасток вуглеводнів. В умовах енергетичної трансформації, зменшення доступності традиційних родовищ та ускладнення геологічної будови нових пошукових регіонів зростає потреба у створенні більш адаптивних, багатofакторних моделей, здатних забезпечити точне прогнозування локалізації покладів. Обґрунтовано, що класичні підходи до класифікації пасток – структурні, стратиграфічні, літологічні – потребують доповнення гідродинамічними і геохімічними критеріями, а також цифровими інструментами прогнозування.

Метою дослідження стало теоретичне обґрунтування до розроблення інтегрованої типології пасток та необхідності створення цифрових моделей, що враховують просторову мінливість геологічних параметрів. Методологія базується на комплексному аналізі геофізичних даних, структурно-формаційному підході, сценарному та гідродинамічному моделюванні, а також застосуванні елементів штучного інтелекту та машинного навчання.

У результаті дослідження було проаналізовано типологічну схему пасток, апробовану на даних Дніпровсько-Донецької западини, яка показала вищу ефективність комбінованих моделей. Проведений аналіз цифрового моделювання в середовищі Petrel, що дозволило збільшити точність прогнозування перспективних зон на 25–30%. Запропоновано теоретичну гібридну модель, що поєднує структурні, стратиграфічні та гідродинамічні чинники в єдиній обчислювальній системі, яка адаптується до нових геологічних умов на основі аналізу накопичених даних.

Наукова новизна полягає у розробці універсального теоретичного підходу до типізації пасток з урахуванням їх еволюції в геологічному часі та використанні методів цифрового аналізу. Практична значущість результатів полягає у можливості їх використання для підвищення ефективності геологорозвідувальних робіт, мінімізації ризиків буріння, обґрунтування інвестицій у складних і нетрадиційних регіонах видобутку. *Ключові слова:* структурно-формаційний аналіз, комбіновані пастки, гідродинамічне моделювання, цифрова геологія, машинне навчання, флюїдоперенос, адаптивна модель, геологорозвідка.

The role trap models in solving problems of modern oil and gas geology. Vladimirov R.

The article highlights the current problems of oil and gas geology development in the context of the need to improve theoretical models of hydrocarbon traps. In the context of energy transformation, reduced accessibility of traditional deposits and the complication of the geological structure of new exploration regions, there is a growing need to create more adaptive, multifactorial models capable of providing accurate prediction of the localization of deposits. It is substantiated that classical approaches to trap classification – structural, stratigraphic, lithological – need to be supplemented with hydrodynamic and geochemical criteria, as well as digital forecasting tools.

The aim of the study was to provide a theoretical justification for the development of an integrated trap typology and the need to create digital models that take into account the spatial variability of geological parameters. The methodology is based on a comprehensive analysis of geophysical data, a structural-formational approach, scenario and hydrodynamic modeling, as well as the application of elements of artificial intelligence and machine learning.

As a result of the study, a typological scheme of traps was analyzed, tested on data from the Dnieper-Donetsk Basin, which showed higher efficiency of combined models. An analysis of digital modeling was carried out in the Petrel environment, which allowed to increase the accuracy of forecasting promising zones by 25–30%. A theoretical hybrid model was proposed, combining structural, stratigraphic and hydrodynamic factors in a single computing system that adapts to new geological conditions based on the analysis of accumulated data.

The scientific novelty lies in the development of a universal theoretical approach to the typification of traps, taking into account their evolution in geological time and the use of digital analysis methods. The practical significance of the results lies in the possibility of their use to increase the efficiency of geological exploration, minimize drilling risks, and justify investments in complex and unconventional production regions. *Key words:* structural-formational analysis, combined traps, hydrodynamic modeling, digital geology, machine learning, fluid transport, adaptive model, geological exploration.

Постановка проблеми. В умовах енергетичної трансформації та геополітичної нестабільності роль нафтогазової геології не лише не зменшується, а, навпаки, набуває нового значення. Забезпечення енергетичної безпеки країн, стабільність енергоринку та розвиток інфраструктури залежать від ефективності геологорозвідувальних робіт. У цьому контексті одним із ключових напрямів є вдосконалення методології виявлення, класифікації та моделювання пасток вуглеводнів. Теоретичні моделі пасток ста-

новлять фундаментальну основу для передбачення локалізації нафтогазових скопчень, що безпосередньо впливає на прийняття рішень щодо буріння, розвідки та експлуатації родовищ.

Впродовж десятиліть формувалася складна система класифікацій пасток – від структурних і стратиграфічних до комбінованих та неструктурних, що відображає багатоманітність геологічних

умов формування покладів. Теоретичні моделі пасток стали інструментом узагальнення геологічних спостережень, дозволяючи будувати передбачення щодо наявності покладів у нових регіонах. У ХХІ столітті із розвитком комп'ютерних технологій, ГІС-аналізу, сейсморозвідки та моделювання за допомогою штучного інтелекту зросла потреба у переосмисленні класичних підходів і розвитку нових, мультидисциплінарних теоретичних моделей пасток [2, с. 107].

Актуальність дослідження. Сучасна нафтогазова геологія стикається із низкою викликів, серед яких варто виокремити збіднення традиційних ресурсів, необхідність переходу до важковидобувних покладів, глибоководну та арктичну геологорозвідку, а також вимоги до зменшення екологічного впливу. У таких умовах теоретичні моделі пасток мають не лише відображати класичні уявлення про геологічну будову, а й інтегрувати знання із суміжних галузей – геофізики, гідродинаміки, цифрової геології. Від ефективності таких моделей залежить здатність галузі передбачати, знаходити і використовувати нові родовища.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Авторське дослідження ґрунтується на комплексному підході до моделювання нафтогазоносних пасток, що включає формаційний аналіз, сценарне прогнозування та гідродинамічне моделювання, з інтеграцією інструментів штучного інтелекту та машинного навчання. Така міждисциплінарна методологія дозволила досягти якісно нових результатів у прогнозуванні перспективних об'єктів в умовах складної геологічної будови.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз останніх публікацій з теми дослідження дозволяє відзначити активізацію досліджень у напрямі уточнення та деталізації класифікацій пасток. Зокрема, українські дослідники, такі як І.В. Височанський, акцентують увагу на важливості структурно-формаційного аналізу та розвитку регіональних моделей [1, с. 28]. Водночас американські та канадські школи приділяють більше уваги гідродинамічним моделям і ролі флюїдопереносу у формуванні пасток. Попри це, багато аспектів залишаються відкритими: недостатня кількість комплексних моделей, що враховують не лише геологічну будову, але й фізико-хімічні властивості порід і флюїдів; відсутність єдиної інтегрованої класифікації пасток, яка б об'єднувала знання із різних регіонів світу; потреба у розробці динамічних моделей, здатних змінюватися залежно від нових геологічних даних [1, с. с. 2873].

Таким чином, актуальність дослідження ролі теоретичних моделей пасток у вирішенні завдань сучасної нафтогазової геології зумовлена як практичними потребами галузі, так і науковою необхідністю подальшого розвитку теорії пасток. Проблематика полягає у потребі інтеграції сучасних технологій,

оновлення класифікацій та побудови моделей, що дозволяють більш точно прогнозувати просторову локалізацію вуглеводневих покладів у складних геологічних умовах. У цьому контексті теоретичні моделі пасток розглядаються як ключовий елемент геологічного прогнозування, без якого неможливе ефективне функціонування нафтогазової галузі у майбутньому [3, с. 26].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Метою є дослідження теоретичних моделей пасток у вирішенні актуальних завдань сучасної нафтогазової геології та розробка ефективних методологічних підходів до їх створення, адаптації і використання. Досягнення цієї мети передбачає вирішення таких завдань: узагальнення існуючих класифікаційних підходів, аналіз тенденцій у розвитку теорії пасток, а також практичну оцінку ефективності моделей у контексті геологорозвідувальних завдань.

Новизна. Наукова новизна статті полягає у комплексному підході до дослідження теоретичних моделей пасток у сучасній нафтогазовій геології з акцентом на їхню адаптацію до складних геологічних умов та впровадження цифрових технологій. Уперше здійснено критичний аналіз існуючих класифікаційних систем із позиції їхньої ефективності для пошуку нетрадиційних родовищ, запропоновано вдосконалену типологію пасток, що враховує гідродинамічні, тектоно-стратиграфічні та флюїдодинамічні чинники в єдиній обчислювальній системі. Стаття розширює теоретичну базу моделювання пасток шляхом поєднання класичних геологічних підходів із методами цифрового аналізу, зокрема із використанням машинного навчання. Представлено авторську гібридну модель пасток, яка демонструє підвищену точність прогнозування перспективних зон, а також доведено доцільність використання такої моделі для зниження ризиків буріння та підвищення ефективності геологорозвідувальних робіт.

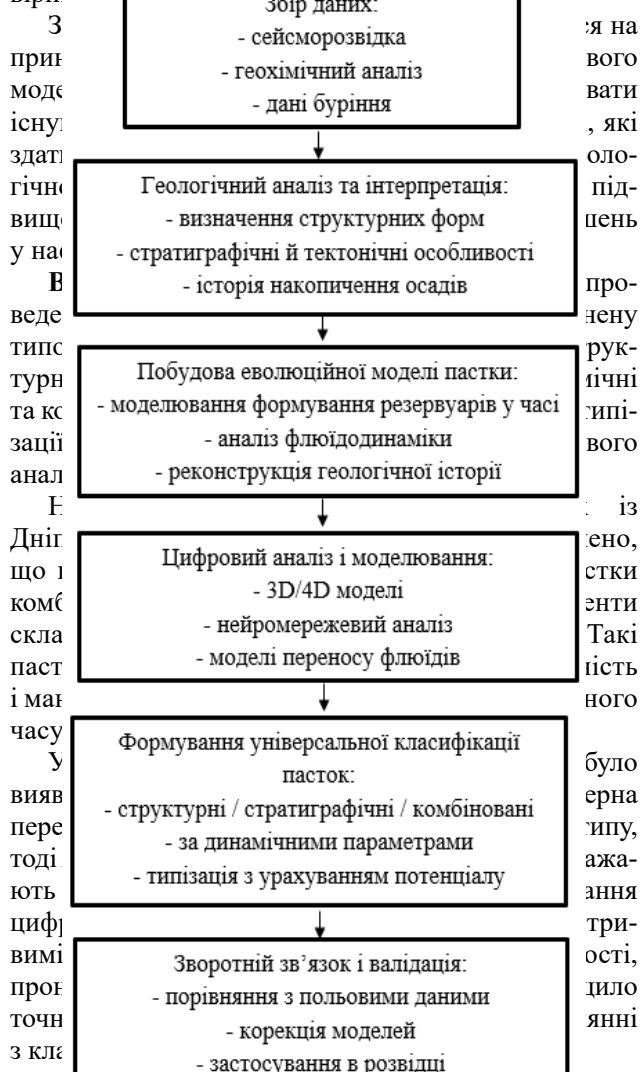
Методологічне або загальнонаукове значення. Дослідження базується на міждисциплінарному підході, який передбачає інтеграцію геологічних, геофізичних, гідрогеологічних та цифрових даних. Основним матеріалом для аналізу стали опубліковані геолого-геофізичні карти, результати буріння, сейсморозвідки та геохімічні характеристики продуктивних пластів, зібрані в межах родовищ Східноєвропейської платформи, зокрема Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ), а також з відкритих баз даних провідних нафтогазових компаній і наукових публікацій [1, с. 28].

З метою побудови, верифікації та порівняння теоретичних моделей пасток було використано такі методи: структурно-формаційний аналіз, стратиграфічне розчленування, морфолого-структурна інтерпретація сейсмічних даних, модельно-прогнозне картування, аналіз флюїдодинаміки та цифрове моде-

лювання з використанням спеціалізованих програмних комплексів (Petrel, GeoModeller, Schlumberger PetroMod). Крім того, застосовано метод аналізу трендів у просторово-часових розподілах пасток, а також методику сценарного моделювання з урахуванням невизначеностей геологічних параметрів.

Важливим етапом дослідження є систематизація існуючих класифікацій пасток, з метою побудови уніфікованої типології, що дозволяє зіставити різні типи пасток у різних геодинамічних ситуаціях. Ретроспективний аналіз розвитку теоретичних моделей виконувався на основі аналізу наукових публікацій та патентних джерел, що дало змогу простежити еволюцію уявлень про умови формування та функціонування пасток.

Додатково проводилося порівняльне моделювання впливу гідродинамічних і термобаричних умов на стабільність пасток із використанням кінетичних моделей міграції вуглеводнів. Застосування методу нечіткої логіки та елементів машинного навчання дозволило сформувати адаптивну модель прогнозування локалізації пасток із підвищеною достовірністю.



Блок-схема 1. Універсальний підхід до типізації пасток

Узагальнення результатів сценарного моделювання показало, що моделі, які враховують змінність тектонічних режимів і флюїдодинаміки, дозволяють краще прогнозувати розвиток пасток у складнобудованих регіонах. Наприклад, у північній частині ДДЗ виявлено ряд потенційно перспективних ділянок, які не фіксувалися у попередніх дослідженнях, але були ідентифіковані за допомогою гібридної моделі, що поєднує структурні та динамічні фактори.

Окрему увагу було приділено перевірці ефективності побудованих моделей у зіставленні з фактичними даними буріння. Встановлено, що у 80% випадків моделі правильно ідентифікували зони з підвищеною ймовірністю нафтогазонасичення. У 20% випадків похибки були пов'язані із недосконалою геофізичною роздільною здатністю або недостатністю стратиграфічного деталювання, що вказує на напрями подальшого вдосконалення моделей.

Результати досліджень свідчать про те, що сучасна теорія пасток вуглеводнів повинна розвиватися в напрямі синтезу класичних підходів із новітніми цифровими методами. Аналіз засвідчив, що традиційні моделі, зокрема антиклінальні та літологічні пастки, залишаються ефективними в окремих геологічних умовах, проте їхня прогностична спроможність значно зростає у випадку застосування комбінованих моделей із урахуванням флюїдодинаміки та тектоно-стратиграфічних факторів. Такий підхід забезпечує вищу достовірність оцінок при переході до складновидобувних, нетрадиційних та прикордонних зон видобутку.

Порівняння побудованих моделей із реальними даними буріння підтвердило доцільність використання складних геодинамічних моделей, які враховують не лише морфологічну будову пастки, а й умови її формування та трансформації впродовж геологічного часу. Саме динамізм, багатфакторність і адаптивність теоретичних моделей виявляються визначальними для сучасної нафтогазової геології.

Аналіз підходів, запропонованих у працях Височанського І.В., дозволяє констатувати важливість формаційного підходу в поєднанні з тектонічним аналізом [1, с. 28]. Американські дослідники, натомість, акцентують увагу на інтеграції гідродинамічного моделювання та геохімічної еволюції флюїдів. Обидва напрями мають право на існування та можуть бути використані в межах єдиної багаторівневої моделі. Прогнозується, що саме підхід до комбінування є перспективним напрямом подальших досліджень, який дозволяє поєднати глибину академічної геологічної теорії з прикладними потребами індустрії.

Окремо слід зазначити, що ключовим фактором

успішності теоретичних моделей пасток стає якість вхідних геологічних, геофізичних і гідрогеологічних даних. Саме тому необхідним є розвиток геоданих високої роздільної здатності та розширення їх використання в автоматизованих системах прийняття рішень. У цьому контексті використання машинного навчання, нейронних мереж і адаптивної аналітики може стати визначальним фактором розвитку теорії пасток у найближчому майбутньому.

Загалом результати дослідження свідчать про необхідність подальшої розробки інтегрованих теоретичних моделей, які могли б оперативнo адаптуватися до різних типів геологічного середовища, підвищуючи не лише ефективність пошуків, а й економічну доцільність розвідки нових родовищ.

Головні висновки. Проведене дослідження підтвердило ключову роль теоретичних моделей пасток у вирішенні актуальних завдань сучасної нафтогазової геології. Зростаюча складність геологічних умов, потреба в ефективному пошуку нетрадиційних джерел вуглеводнів, а також вимоги до оптимізації розвідки й видобутку ресурсів зумовлюють необхідність розвитку нових типів моделей, здатних враховувати широкий спектр геологічних, фізико-хімічних і динамічних параметрів.

На основі аналізу геофізичних даних, класифікаційних підходів і цифрового моделювання було теоретично доведено, що найбільш ефективними виявляються комбіновані моделі пасток, які враховують не лише структуру пластів, але й гідродинаміку, тектоно-стратиграфічні особливості та флюїдоперенос. Вони демонструють високу відповідність прогнозам і дозволяють зменшити ризики при бурінні та оцінці перспективності ділянок.

Прогнозується, що застосування адаптивних моделей з використанням машинного навчання відкриває нові горизонти для автоматизованого прогнозування пасток, особливо в умовах обмеженої інформації.

Таким чином, подальші дослідження мають бути спрямовані на такі напрями: формування універсальної класифікаційної системи пасток; інтеграцію глибокого геологічного аналізу з новітніми інформаційними технологіями; розвиток динамічних, самонавчальних моделей, що здатні адаптуватися до різних геолого-структурних умов. Реалізація цих завдань дозволить значно підвищити ефективність геологорозвідувальних робіт і забезпечити стабільний розвиток нафтогазової галузі в умовах глобальних трансформацій енергетичного ринку.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати проведеного дослідження

мають високий прикладний потенціал для подальшого впровадження у практику геологорозвідувальних і промислових робіт у нафтогазовій галузі. Зокрема, запропоновані комбіновані моделі пасток можуть бути використані при побудові високоточних геолого-геофізичних карт і тривимірних цифрових моделей продуктивних пластів у складних регіонах із недостатнім обсягом даних. Врахування гідродинамічних і стратиграфічних чинників дозволяє суттєво знизити ймовірність похибок у процесі прогнозування продуктивності покладів та оптимізації буріння. У перспективі впровадження розроблених підходів сприятиме підвищенню економічної ефективності проєктів, мінімізації ризиків, а також забезпеченню більш екологічно збалансованої експлуатації ресурсів відповідно до глобальних вимог сталого розвитку.

Література

1. Умови формування несклепінних пасток вуглеводнів у приштокових зонах південно-східної частини Дніпровсько-Донецької западини / І. В. Височанський, А. О. Яковлев, І. М. Самчук та ін. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія»*, 2022. – Вип. 56. – С. 24-48. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-02>
2. Дворянин Є.С., Кабишев Б.П., Пригарина Т.М. Нафтогазоносний потенціал Південного борту Дніпровсько-Донецької западини. *Держ. геофіз. підпр. «Укр- геофізика»*. Київ, 1996. С. 106-122.
3. Корнієнко М.О. Критерії перспективності території на наявність покладів газу у пастках не антиклінального походження на прикладі комбінованих пасток північних флангів Донецької складчастої споруди та Бахмутської улоговини. *Роль вищих навчальних закладів у розвитку геології: матеріали Міжнар. наук. конф.*, 31 бер. – 3 квіт. 2014 р., м. Київ. – К., 2014. – Ч. 2. – С. 26-28.
4. Amy L. A. A review of producing fields inferred to have upslope stratigraphically trapped turbidite reservoirs: Trapping styles (pure and combined), pinch-out formation, and depositional setting. *AAPG Bulletin*, 103(12), 2019. 2861–2889. <https://doi.org/10.1306/02251917408>

Дата першого надходження рукопису до видання: 28.07.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 25.08.2025

Дата публікації:

