



Прийнято 19.05.2025. Прорецензовано 26.05.2025. Опубліковано 20.06.2025.

УДК 553.98:622.691.24

DOI: 10.31471/1993-9868-2025-1(43)-23-31

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ВИВЧЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ГЕОЛОГІЧНОЇ БУДОВИ ПІДЗЕМНИХ СХОВИЩ ГАЗУ

Дубей Н. В.*

Канд. геол.-мінерал. наук, доцент

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, Україна, 76019

<https://orcid.org/0000-0002-9042-6886>

e-mail: dubei0509@gmail.com

Анотація. Метою роботи є застосування методів вивчення особливостей геологічної будови підземних сховищ газу на прикладі Західного нафтогазоносного регіону. Дослідження проводились на основі застосування методики оцінки мінливості параметрів колекторів. Об'єктами вивчення є продуктивні горизонти підземних сховищ газу Західноукраїнського регіону. Проаналізовано геолого-промислові ознаки підземних сховищ газу Передкарпаття на основі обробки геологічних та геофізичних матеріалів. В роботі викладені методичні розробки по дослідженню геологічної неоднорідності колекторів, яку необхідно враховувати на стадії проектування підземних сховищ газу. На базі літолого-фаціального аналізу і статистичного опрацювання промислово-геологічних даних вивчено характер неоднорідності колекторів по площі відкладів і по розрізу. Встановлено, що продуктивні горизонти Опарського та Угерського підземних сховищ газу є дуже неоднорідні. Слід зазначити, що більшою мірою мінливість властивостей колекторів по площі спостерігається на Угерському ПСГ, а по розрізу – на Опарському ПСГ. Результати вивчення геологічних властивостей об'єктів зберігання газу представлені на основі аналізу побудованих карт: пористості, проникності, піщанистості, ефективних газонасичених товщин, розповсюдження порід-колекторів, а також геолого-геофізичних профілів. Використовувалась низка статистичних методів обробки даних. Побудовані гістограми за результатами обробки значень пористості і проникності продуктивних горизонтів підземних сховищ газу Передкарпатського прогину. При проектуванні нових підземних сховищ газу і при корегуванні технологічних проектів для ПСГ, що перебувають в експлуатації, рекомендовано обов'язково враховувати мінливість колекторів, яка відображається на фільтраційних властивостях порід і, відповідно, на величині активного об'єму газу і на продуктивності експлуатаційних свердловин.

Ключові слова: підземне сховище газу; неоднорідність; колектори; поклад; фільтраційні властивості.

Вступ

Українські підземні сховища газу – найбільші серед країн Європейського Союзу (ЄС), сукупна потужність їх становить 29% від обсягу всіх підземних сховищ газу ЄС. Україна цілком може стати павербанком Європи. Можливості українських підземних сховищ газу колосальні. В Україні налічується 12 підземних сховищ газу ємністю близько 31 млрд кубометрів. Із них 10 створені на базі виснажених ро-

довищ газу і два – у водоносних горизонтах. Підземні сховища газу розташовані у західних, північних, південних та східних областях України. Та найбільшим є кластер ПСГ, який розташований на заході країни та об'єднує близько 80% потужностей ПСГ всієї України. Розташування ПСГ поблизу кордонів робить зберігання газу більш зручним для країн ЄС.

До початку війни основними завданнями ПСГ України було забезпечення споживачів

Запропоноване посилання: Дубей, Н. В. (2025). Застосування методів вивчення особливостей геологічної будови підземних сховищ газу. Нафтогазова енергетика, 1(43), 23-31. doi: 10.31471/1993-9868-2025-1(43)-23-31.

* Відповідальний автор



Copyright © The Author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

газу в межах країни та транспортування блакитного палива за її межі. Як відомо, Україна з початку 2025 року припинила транспортування російського газу. На фоні газового шантажу Російської Федерації Європейська комісія започаткувала ініціативу щодо припинення до 2030 року залежності від російського газу країнами ЄС у відповідь на повномасштабне вторгнення на територію України. Країни Євросоюзу вирішили вжити заходів із підвищення безпеки постачання газу, накопичення необхідної кількості газу для сталого проходження опалювального сезону та створення запасів на випадок кризових ситуацій. Попри всі виклики і обставини війни іноземні компанії зацікавлені зберігати газ в українських підземних сховищах газу, що дає можливість Україні стати важливою складовою енергетичної безпеки Європи.

Отже, підвищення ефективності створення і експлуатації українських підземних сховищ газу, які є стратегічними об'єктами для держави, і надалі залишається актуальним. Одним із важливих і фундаментальних аспектів вирішення цього питання є вивчення геологічної будови об'єктів зберігання газу, аналіз геологічних особливостей та впливу їх на роботу ПСГ.

Аналіз сучасних закордонних і вітчизняних досліджень та публікацій

Багато закордонних досліджень зосереджено на аналізі того, як ПСГ впливають на стабільність газового ринку та енергетичну безпеку країн. Значна увага приділяється удосконаленню технологій будівництва та експлуатації ПСГ, зокрема, підвищенню ефективності зберігання газу, зменшенню втрат та мінімізації впливу на навколишнє середовище [10].

Розробляються математичні моделі, які дозволяють оптимізувати режими роботи ПСГ, прогнозувати їх поведінку в різних умовах та приймати обґрунтовані рішення щодо управління запасами газу.

Українські вчені та експерти активно досліджують перспективи розвитку ПСГ в Україні, зокрема, можливості збільшення їх потужності, інтеграції з європейською газотранспортною системою та використання для зберігання стратегічного запасу газу [1]. Проводяться дослідження, спрямовані на оцінку економічної ефективності функціонування ПСГ, зокрема, аналіз витрат на будівництво та експлуатацію, а також оцінка доходів від зберігання та продажу газу. Вивчаються геологічні умови розміщення ПСГ на території України, зокре-

ма, пошук та оцінка придатності підземних структур для зберігання газу, а також оцінка ризиків, пов'язаних з геологічними факторами. Значний вклад в теорію та практику створення підземних сховищ газу у виснажених пластах, у тому числі і в умовах Прикарпаття, зробили А. В. Баранова, В. П. Войцицький [2], І. В. Войцицький [3], Р. Ф. Гімер [4], О. Н. Грачова, О. М. Іщенко, Й. С. Павлюх, О. В. Солецький, Г. І. Солдаткін. Однак певна кількість об'єктів спонукала до проектування та створення ПСГ у більш складних геолого-промислових умовах, зокрема в умовах низькопроникних неоднорідних колекторів. Питанню вивчення неоднорідності колекторів по підземних сховищах газу і впливу цього фактора на ефективність їх експлуатації присвячені роботи Н. Р. Ковальчука, Т. Н. Митрофанової, Н. В. Дубей [5,6,9].

Висвітлення невирішених раніше частин загальної проблеми

В результаті проведеного аналізу результатів досліджень в області створення та експлуатації підземних сховищ газу в умовах неоднорідних пластів-колекторів встановлена відсутність комплексної методики врахування фактора неоднорідності на стадії їх проектування. По тій причині має місце значне перевищення проєктних показників проти фактичних, і зниження ефективності роботи газосховищ..

В даній статті автор подає методичні розробки по дослідженню геологічної неоднорідності колекторів, яку важливо враховувати на стадії проектування ПСГ.

Мета та завдання досліджень

Мета роботи – застосування методів вивчення особливостей геологічної будови підземних сховищ газу на прикладі ПСГ Передкарпаття.

Завдання:

– описати методику вивчення геологічних особливостей порід-колекторів, пов'язаних з їх неоднорідністю;

– представити результати вивчення геологічної мінливості колекторів Угерського та Опарського ПСГ на основі аналізу диференціації параметрів пласта по розрізу, по площі та кількісної оцінки ступеня її неоднорідності.

Висвітлення основного матеріалу дослідження

Для вивчення низки важливих технологічних показників, які характеризують процеси розробки газових покладів і експлуатації ПСГ,

велике значення має не лише аналіз середніх величин колекторських властивостей пласта, але й характер та ступінь їх мінливості, тобто неоднорідність пласта, адже від достовірної інформації про об'єкт експлуатації залежить ефективність експлуатації підземного сховища газу.

З метою дослідження геологічної неоднорідності, слід користуватись достатньо перевіреною методикою, термінологією, класифікацією. На жаль, на теперішній час за переліченими питаннями ще немає єдиної думки.

Геологічну неоднорідність досліджують методами, які можна об'єднати в 3 групи.

1. Геолого-геофізичні.
2. Лабораторно-експериментальні.
3. Промислово-гідродинамічні.

В кожному конкретному випадку повнота вирішення питання визначається можливістю застосування того чи іншого методу. Тому дуже часто характеристика неоднорідності подається на основі не всіх, а частини методів.

Усі прийоми та методи дослідження неоднорідності базуються, здебільшого, на статистичній обробці та узагальненні фактичних даних. Детальніше необхідно зупинитися на описі геолого-геофізичних методів, що широко застосовують при дослідженні геологічної неоднорідності. До цієї групи методів вивчення геологічної неоднорідності пластів вищевказаними дослідниками відноситься весь комплекс досліджень по обробці фактичного матеріалу, отриманого в процесі буріння свердловин, включаючи обробку даних аналізу кернів і результатів інтерпретації геофізичних досліджень свердловин. Цими методами виконується детальне вивчення розрізу покладу, його розчленування і кореляція розрізів свердловин із врахуванням літолого-петрографічної і промислово-геофізичної характеристики порід. Кінцевим результатом застосування геолого-геофізичних методів є геологічні профілі і літологічні карти, що відображають особливості будови продуктивних пластів по розрізу і площі. Першим і найбільш важливим етапом при вивченні неоднорідності пластів геолого-геофізичними методами є розчленування продуктивного горизонту на окремі пласти, а також їх кореляція по площі, яка дасть можливість виявити розповсюдження по площі кожного окремого загального інтервалу, визначити границі його поширення, мінливість колекторських властивостей.

Викликає інтерес також використання схем і графіків зміни ефективної товщини і проникності пісковиків по площі для вивчення

характеру зональної мінливості цих важливих параметрів.

Геолого-промислова практика вивчення геологічної будови родовищ та ПСГ показала доцільність побудови таких карт :

- загальних товщин продуктивного горизонту;
- ефективних товщин продуктивного горизонту;
- розповсюдження порід-колекторів;
- пористості та проникності;
- геофізичних параметрів, які характеризують колекторські властивості пластів.

Однак, перелічені карти не є необхідним мінімумом. У кожному конкретному випадку, виходячи із особливостей геологічної будови родовища, вибирається необхідний графічний матеріал, який найповніше відображає картину неоднорідності. За допомогою геолого-геофізичних методів можна виявити доволі детальну неоднорідність пластів, однак, це не дає можливості отримати критерії, які дозволили б кількісно оцінити неоднорідність різних пластів. В зв'язку з цим були запропоновані деякі методи вивчення неоднорідності пластів, які базуються на статистичному опрацюванні та узагальненні вихідних геолого-промислових даних. При частій і незакономірній зміні параметрів по площі, величини їх можуть бути подані у вигляді варіаційного ряду, а графічно у вигляді гістограм, полігонів і кривих розподілу. По осі абсцис на графіках відкладаються величини параметрів, або інтервали їх зміни, по осі ординат – кількість випадків, або частість, тобто процент від загальної кількості випадків, прийнятої за 100 %. Завдяки таким графікам, можна судити не тільки про межі коливання величин параметрів, але й про кількісне співвідношення між ними по площі.

Для оцінки ступеня неоднорідності пласта використовують низку статистичних характеристик та показників, таких як середня величина досліджуваного параметру, дисперсія, середньоквадратичне відхилення, коефіцієнт варіації та ін. Неоднорідність пластів можна виразити і оцінити за допомогою показників, які відображають особливості геологічної будови досліджуваного об'єкту. Із них найбільш розповсюдженими є такі показники: коефіцієнт відносної піщанистості, розчленування, вклинювання, витриманості, розповсюдження, переривчастості, літологічної зв'язаності, а також коефіцієнт неоднорідності. Із вище сказаного можна зробити висновок, що для оцінки геологічної неоднорідності пластів запропонована велика кількість різних критеріїв і характерис-

тик, тому важливо вибрати оптимальний комплекс показників, який дозволив б найбільш повно вивчити неоднорідність пластів геологічного об'єкта.

Нижче представлена методика і результати вивчення неоднорідності пластів-колекторів підземних сховищ газу Прикарпаття. Шляхи вирішення проблеми неоднорідності продуктивних пластів можуть бути дуже різні. Виходячи із можливості застосування тих чи інших методів і потреби в них, для вивчення пластів-колекторів ПСГ, які є об'єктами дослідження, була вибрана лише частина прийомів із запропонованих вище. Звичайно, вони не претендують на всеосяжність проблеми і не виключають інших підходів до її вирішення, але можуть надати певну допомогу при вивченні неоднорідності продуктивних горизонтів [6,9].

Аналіз неоднорідності пластів-колекторів проводився в більшому обсязі для Угерського ПСГ, продуктивні горизонти НД-8 і НД-9, а також для продуктивного горизонту НД-7 Опарського ПСГ, які відносяться до нижньої дашавської підсвіти сарматського ярусу міоцену. За літолого-петрографічним складом підсвіти в цілому можна охарактеризувати як глинисто-алевроліто-піщанисту. Колекторами газу є пісковики і алевроліти переважно кварцові із незначною кількістю зерен польового шпату [7,8]. Для детального вивчення розрізу покладів, їх розчленування із врахуванням літолого-петрографічної і промислово-геофізичної характеристик порід доцільною є побудова геологічних та геолого-геофізичних профілів.

Для детального вивчення розрізу покладів, їх розчленування із врахуванням літолого-петрографічної і промислово-геофізичної характеристик порід доцільною є побудова геологічних та геолого-геофізичних профілів.

Особливістю сарматських відкладів є чергування в розрізі піщаних і глинистих порід. В більшій мірі це відноситься до продуктивного горизонту НД-9 Угерського ПСГ і горизонту НД-7 Опарського газосховища, які характеризуються значною мінливістю товщин пластів та їх виклинюваннями по розрізу. Продуктивність пласта в першу чергу визначається його ефективною товщиною, піщанистістю, пористістю та проникністю. Для вивчення вказаних параметрів були використані матеріали промислово-геофізичних досліджень в пробурених свердловинах і результати лабораторних аналізів кернавого матеріалу. За матеріалами промислової геофізики можна визначити загальну і ефективну товщину, пористість і піщанистість пластів-колекторів. За лабораторними

дослідженнями – пористість і проникність. Однак, в зв'язку з тим, що кернавий матеріал відбирався лише по окремих свердловинах і при цьому не зі всього продуктивного розрізу, значень проникності недостатньо для проведення відповідного аналізу. Для цього була використана функціональна залежність між пористістю і проникністю, що була визначена для певного стратиграфічного елемента за даними лабораторних досліджень кернавого матеріалу.

Величина ефективної товщини, піщанисті, пористості і проникності продуктивних товщ в умовах Угерського і Опарського ПСГ, пов'язаних з теригенними відкладами сарматського ярусу, значно змінюються по розрізу і по площі. Так, наприклад, у розрізі свердловини 252 (Угерське ПСГ), згідно з матеріалами [6,9], ефективна товщина окремих пропластків горизонту НД-8 змінюється від 0,7 до 10 м, значення пористості – від 16 до 26 %, проникності – від $310 \cdot 10^{-15}$ до $400 \cdot 10^{-15}$ м². Для Опарського ПСГ по свердловині 95 у розрізі продуктивного горизонту НД-7 встановлені такі межі основних показників: ефективної товщини – 2,6–8 м; пористості – 16–27 %; проникності – $310 \cdot 10^{-15}$ – $700 \cdot 10^{-15}$ м². Таке коливання перелічених параметрів характерне і для розрізів решти свердловин. Порівнюючи характеристику продуктивних пластів по розрізах свердловин Угерського і Опарського ПСГ на основі аналізу геолого-геофізичних профілів і фактичного матеріалу [6,9], можна зробити висновок, що суттєва неоднорідність пластів-колекторів по розрізу є характерною ознакою для обох газосховищ, проте дещо в більшій мірі вона виражається на Опарському ПСГ. Мінливість параметрів пласта по площі для Угерського і Опарського ПСГ теж заслуговує на неабияку увагу. Який характер цієї мінливості і наскільки закономірні ті чи інші зміни параметрів по площі. Дані питання, які складають частину загальної проблеми неоднорідності продуктивних пластів, в певній мірі можна висвітлити за допомогою графіків зміни ефективної товщини пісковиків і алевролітів експлуатаційних об'єктів НД-8 і НД-9 Угерського ПСГ і продуктивного горизонту НД-7 Опарського ПСГ, а також за допомогою карт піщанисті, пористості і проникності.

В склепінній і присклепінній частинах Угерської структури відзначаються максимальні значення фільтраційно-ємнісних параметрів. Величина піщанисті 0,6–0,7, пористості – 23–25 % (рис. 1), проникності $160 \cdot 10^{-15}$ – $170 \cdot 10^{-15}$ м². Причому найбільш різке

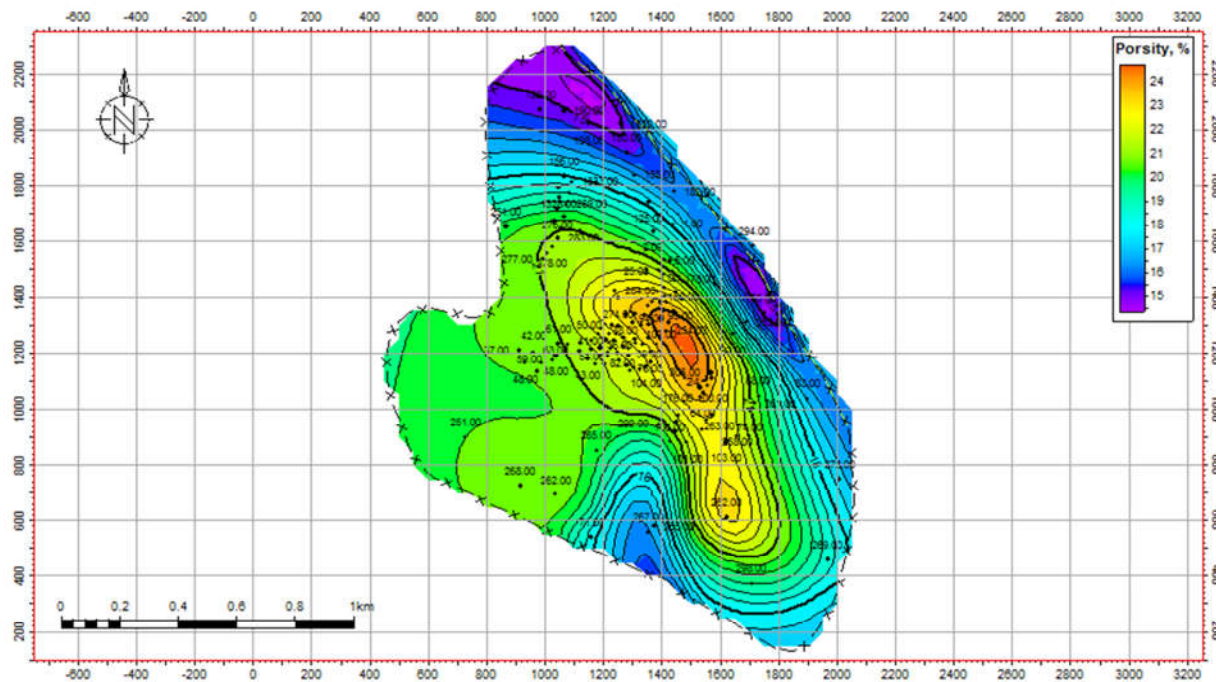


Рисунок 1 – Угерське ПСГ. Горизонт НД-8. Карта пористості

зменшення значень всіх показників відбувається у напрямку до східної частини Угерської площі, де пісковики і алевроліти продуктивного горизонту заміщуються глинами. Із складених карт піщанистості, пористості і проникності видно, що найкращі колекторські властивості мають породи-колектори, розміщені в північно-західній частині структури. Значення піщанистості, пористості та проникності складають тут відповідно 0,7–0,75; 25,2–26%; $200 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$. У напрямку до півночі та сходу структури вони зменшуються відповідно до 0,5; 21%; $40 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$. У південній частині Опарської площі, ближче до межі зони глинизації, перелічені параметри є мінімальні: піщанистість – 0,4; пористість – 19%; проникність – $20 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$ [9].

Результати досліджень геологічної неоднорідності в об'єктах зберігання газу на Угерському та Опарському ПСГ опубліковані в дисертаційній роботі автора [11].

При значній мінливості параметрів по площі їх величини можуть бути подані у вигляді варіаційного ряду, а графічно – у вигляді гістограм, полігонів чи кривих розподілу. Варіаційний ряд отримують, розташувавши всі окремі значення (варіанти) того чи іншого параметра у зростаючому порядку, після чого його ділять на інтервали. Для наочного зображення характеру мінливості пористості і проникності продуктивних пластів побудовані частотні графіки у вигляді полігонів розподілу даних параметрів. Вздовж осі абсцис відклада-

лися серединні значення класів, а по осі ординат – відповідні їм частоти (рис. 2). За отриманими графіками можна судити про ступені мінливості пористості та проникності по продуктивних горизонтах Угерського і Опарського ПСГ, а також порівнювати їх між собою. Відносно пологий графік розподілу свідчить про більшу мінливість пластів-колекторів. Для порівняно однорідних пластів притаманний більш стрімкий графік, на якому найвищі величини частоти відповідають вузькому діапазону зміни параметра. Побудовані полігони розподілу пористості пластів-колекторів показують значну неоднорідність продуктивних горизонтів обох розглядуваних ПСГ, причому продуктивні горизонти НД-8 і НД-9 Угерського ПСГ є більш неоднорідні за пористістю порівняно із продуктивним горизонтом НД-7 Опарського ПСГ. Аналогічні висновки можна зробити після аналізу збудованих полігонів розподілу проникності. Продуктивні горизонти Угерського ПСГ більш неоднорідні за проникністю порівняно із продуктивною товщею Опарського ПСГ, хоча пласти-колектори обох ПСГ є значною мірою неоднорідні. Результати обробки значень пористості та проникності наведені в таблицях 1–4 [11].

Для порівняння геолого-фізичних властивостей пласта і оцінки ступеня його неоднорідності використовують ряд статистичних характеристик і показників, таких як середня величина параметрів, дисперсія, середньоквадратичне відхилення, коефіцієнт варіації та ін. Се-

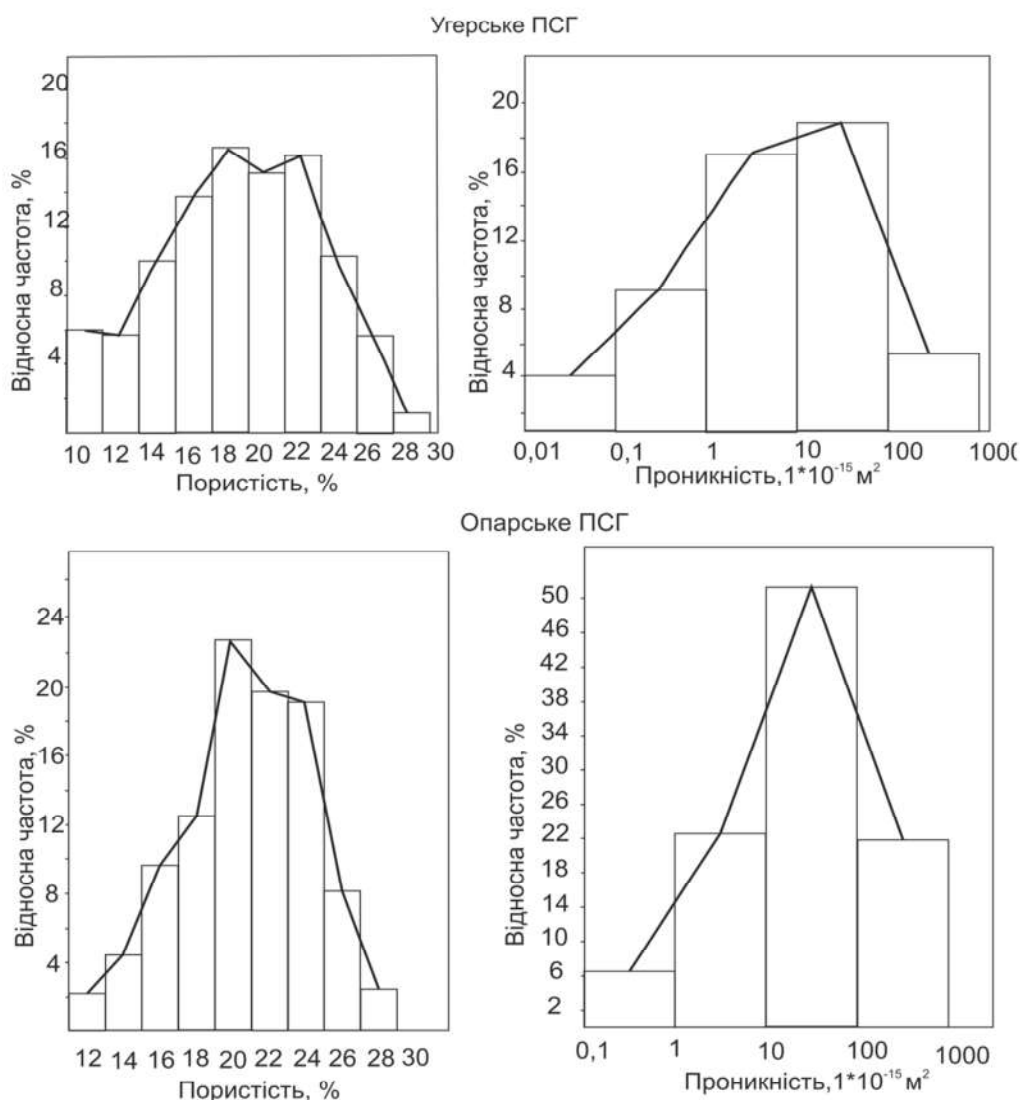


Рисунок 2 – Полігони розподілу пористості і проникності колекторів продуктивних горизонтів Угерського і Опарського підземних сховищ газу

редньою величиною варіант статистичної сукупності називається така величина, якою можна замінити всі варіанти, не змінюючи певного кінцевого результату дослідження. Найбільш простою і широко застосованою із багатьох видів середніх величин є середня арифметична.

Для Угерського та Опарського газосховищ середні арифметичні значення та ряд інших показників пораховані тільки для пористості пластів-колекторів. Середні значення пористості складають 20,5% для Угерського і 21,0% для Опарського ПСГ. Середня величина параметра є важливою характеристикою об'єкта експлуатації. Однак, при вивченні неоднорідності важливо знати ступінь коливання (розсіювання) величин параметрів відносно їх середнього значення. Мірою розсіювання в статистиці є середньоквадратичне відхилення σ .

Властивості середньоквадратичного відхилення такі, що чим більше його значення, тим вищий ступінь мінливості параметра. Обчислене для досліджуваних підземних газосховищ значення середньоквадратичних відхилень для пористості дорівнює 6,06% для Угерського і 5,19% для Опарського ПСГ. Відносною мірою коливання величин пористості є коефіцієнт варіації V . Цей показник зручно використовувати для порівняльної оцінки ступеня мінливості одних і тих же показників для різних площ [11].

Дана величина вкотре доводить більшу неоднорідність пластів-колекторів Угерського ПСГ порівняно із продуктивним пластом Опарського газосховища, оскільки для Угерського ПСГ коефіцієнт варіації складає 29 %, для Опарського ПСГ – 25%, а для Богородчанського – 10 %. Як вже зазначалося вище, перелічені ста-

Таблиця 1 – Результати обробки значень пористості продуктивних горизонтів НД-8 і НД-9 Угерського ПСГ [11]

Інтервал зміни пористості, %	Частота z	Частість v, %
10 – 12	29	5,92
12 – 14	28	5,71
14 – 16	49	10,00
16 – 18	67	13,67
18 – 20	81	16,53
20 – 22	74	15,10
22 – 24	79	16,13
24 – 26	50	10,21
26 – 28	28	5,71
Більше 28	5	1,02
	$\Sigma = 490$	$\Sigma = 100$

Таблиця 2 – Результати значень проникності продуктивних горизонтів НД-8 і НД-9 Угерського ПСГ [11]

Інтервал зміни проникності, $1 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$	Частота z	Частість v, %
0,001 – 0,1	31	6,33
0,1 – 1	80	16,33
1 – 10	159	32,45
10 – 100	176	35,92
100 – 1000	44	8,97
	$\Sigma = 490$	$\Sigma = 100$

тистичні показники знаходилися тільки для величини пористості колекторів Угерського і Опарського ПСГ. Оскільки величини пористості та проникності зв'язані між собою кореляційною залежністю, то можна стверджувати, що ступені мінливості обох показників оцінюються аналогічно. У результаті проведеного вище аналізу встановлено, що породи-колектори нижнього сармату, зокрема в межах горизонтів НД-5 – НД-8, характеризуються значною неоднорідністю по розрізу і по площі. Ця неоднорідність значною мірою впливає на фільтраційні властивості порід-колекторів і, відповідно, на продуктивність експлуатаційних свердловин та об'єми активного газу в ПСГ. Ці фактори обов'язково слід враховувати як при проєктуванні нових газосховищ, так і при корегуванні технологічних проєктів для ПСГ, які знаходяться в експлуатації [11].

Висновки

На основі літолого-фаціального аналізу та статистичної обробки промислово-геологічних матеріалів вивчено характер неоднорідності пластів-колекторів по продуктивному розрізу і

Таблиця 3 – Результати обробки значень пористості продуктивного горизонту НД-7 Опарського ПСГ [11]

Інтервал зміни пористості, %	Частота z	Частість v, %
10 – 12	3	2,19
12 – 14	6	4,38
14 – 16	13	9,49
16 – 18	17	12,41
18 – 20	31	22,62
20 – 22	27	19,71
22 – 24	26	18,98
24 – 26	11	8,03
26 – 28	3	2,19
Більше 28		
	$\Sigma = 137$	$\Sigma = 100$

Таблиця 4 – Результати значень проникності продуктивного горизонту НД-7 Опарського ПСГ [11]

Інтервал зміни проникності, $1 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$	Частота z	Частість v, %
0,1 – 1	9	6,57
1 – 10	31	22,63
10 – 100	70	51,09
100 – 1000	27	19,71
	$\Sigma = 137$	$\Sigma = 100$

по площі відкладів, в яких створені підземні газосховища Передкарпаття. Встановлено, що продуктивні пласти Угерського і Опарського підземних сховищ газу значною мірою неоднорідні, причому для Угерського ПСГ більшою мірою виражена мінливість по площі, а для Опарського – по продуктивному розрізу.

У результаті аналізу розробки газових покладів, пов'язаних з неоднорідними колекторами, аналізу їх експлуатації в режимі ПСГ та матеріалів математичної та статистичної оцінки неоднорідності колекторів встановлено, що при розробці газових покладів характер дренавання окремих пластів визначається їх проникністю, а саме: в перший період в роботу включаються, в основному, високопроникні пласти; зі збільшенням пластової депресії активність дренавання низкопроникних пластів поступово збільшується і на кінцевій стадії розробки можливе перетікання газу з низкопроникних пластів у високопроникні. При циклічній експлуатації ПСГ за рахунок значно вищих темпів зміни тиску, порівняно з процесом розробки газового покладу, та періодичності зміни напрямку руху газу в пласті дифере-

нціація пластових тисків по окремих пластах має більш виражений характер: у процесі циклу закачування-відбирання газу зміна тиску від мінімальної до максимальної величини в низкопроникних пластах у 6–8 разів вища, ніж у високопроникних, створюється так званий ефект "застійних" зон, який спричинює зменшення активного об'єму газу на 20–40 % і більше. Не менш важливим є той факт, що при розробці неоднорідних колекторів залежність приведенного пластового тиску від сумарного видобутку газу має вигляд кривої, опуклої до осі абсцис, що на практиці часто помилково пов'язується з проявом пружно-водонапірного режиму; у даному випадку, підраховані для початкової ділянки залежності, запаси газу будуть занижені на 10–20 % і більше. Тому з метою збільшення достовірності підрахунку, за

відсутності прямих ознак обводнення, пропонується визначати запаси газу по початковій та кінцевій точках залежності. Отже, при проектуванні нових газосховищ та при коректуванні технологічних проектів по ПСГ, які знаходяться в експлуатації, рекомендується обов'язково враховувати неоднорідність пластів-колекторів по площі та по розрізу, оскільки вона значною мірою впливає на фільтраційні властивості порід і, відповідно, на продуктивність експлуатаційних свердловин та об'єми активного газу.

Подяки

Відсутні.

Конфлікт інтересів

Відсутній.

Список використаних джерел

1. Сторчак С.О., Заєць В.О. Підземні сховища газу України – надійна основа для створення Східноєвропейського газового хабу. *Нафтогазова галузь України*. 2016. № 3. С. 24-25.
2. Войціцький В.П. Корективи до технологічного проекту експлуатації Опарського ПСГ. Звіт з НДР. Харків: УкрНДІГаз, 1993. 89 с.
3. Войціцький І.В. Корективи до технологічної схеми створення Опарського ПСГ з визначенням умов підвищення продуктивності відбору газу. Львів: Фонди ПП «Газтехнологія», 2003. 87 с.
4. Гімер Р.Ф., Гімер П.Р., Деркач М.П. Підземне зберігання газу: монографія. Івано-Франківськ: Факел, 2001. 224 с.
5. Дубей Н.В. Статистичні методи обробки та аналізу в нафтогазопромисловій геології. *East European Science Journal*. 2017. № 15. С. 20-24.
6. Дубей Н.В., Манюк В.М., Мислюк Р.І. Вивчення геологічної мінливості пластів-колекторів. *Нафтогазова галузь: Перспективи нарощування ресурсної бази*: матеріали Міжнародної науково-технічної конференції, 08-09 грудня 2020 р. Івано-Франківськ, 2020. С. 58-60.
7. Леськів І.В., Щерба, В.М. Геолого-геофізичні дослідження при розшуках газу в Передкарпатському прогині. Київ: Наукова думка, 1979. 82 с.
8. Середюк М.Д., Савків Б.П. Підземне зберігання газу: навч. посіб. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2015. 232 с.
9. Dubei N., Dubei M. Methodological developments for taking into account of layer heterogeneity at the design stage of underground gas storage. *International Conference of Young Professionals, GeoTerrace – 2023*. 2023.
10. Ionuț Lungu et al. Pro and con features regarding underground gas storage in depleted reservoirs versus saline deposits. *MATEC Web Conf.*, 2021.
11. Дубей Н.В. Геолого-промислові особливості створення підземних газосховищ у виснажених газових родовищах, пов'язаних з неоднорідними колекторами (на прикладі ПСГ Прикарпаття): Дисертація. Івано-Франківськ, 1996. 170 с.

References

1. Storchak S.O., Zaiets V.O. Pidzemni skhovyshcha hazu Ukrainy – nadiina osnova dlia stvorennia Skhidnoievropeiskoho hazovoho khabu. *Naftohazova haluz Ukrainy*. 2016. No 3. P. 24-25. [in Ukrainian]
2. Voitsitskyi V.P. Korektyvy do tekhnolohichnoho proektu ekspluatatsii Oparskoho PSH. Zvit z NDR. Kharkiv: UkrNDIHaz, 1993. 89 p. [in Ukrainian]

3. Voitsitskyi I.V. Korektyvy do tekhnolohichnoi skhemy stvorennia Oparskoho PSH z vyznacheniam umov pidvyshchennia produktyvnosti vidboru hazu. Lviv: Fondy PP «Haztekhnohiiia», 2003. 87 p. [in Ukrainian]
4. Himer R.F., Himer P.R., Derkach M.P. Pidzemne zberihannia hazu: monohrafiia. Ivano-Frankivsk: Fakel, 2001. 224 p. [in Ukrainian]
5. Dubei N.V. Statystychni metody obrobky ta analizu v naftohazopromyslovii heolohii. *East European Scientific Journal*, 2017, No 15, P. 20-24. [in Ukrainian]
6. Dubei N.V., Maniuk V.M., Mysliuk R.I. Vyvchennia heolohichnoi minlyvosti plastiv-kolektoriv. *Naftohazova haluz: Perspektyvy naroshchuvannia resursnoi bazy: materialy Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii*, 08-09.12.2020. Ivano-Frankivsk, 2020. P. 58-60. [in Ukrainian]
7. Leskiv I.V., Shcherba, V.M. Heoloho-heofizychni doslidzhennia pry rozshukakh hazu v Peredkarpatskomu prohyni. Kyiv: Naukova dumka, 1979. 82 p. [in Ukrainian]
8. Serediuk M.D., Savkiv B.P. Pidzemne zberihannia hazu: navch. posib. Ivano-Frankivsk: IFNTUNH, 2015. 232 p. [in Ukrainian]
9. Dubei N., Dubei M. Methodological developments for taking into account of layer heterogeneity at the design stage of underground gas storage. *International Conference of Young Professionals, GeoTerrace – 2023*. 2023.
10. Ionuț Lungu et al. Pro and con features regarding underground gas storage in depleted reservoirs versus saline deposits. *MATEC Web Conf.*, 2021.
11. Dubei N.V. Heoloho-promyslovi osoblyvosti stvorennia pidzemnykh hazoskhovyshch u vysnazhenykh hazovykh rodovyshchakh, poviazanykh z neodnorodnymy kolektoramy (na prykladi PSH Prykarpattia): Dysertatsiia. Ivano-Frankivsk, 1996. 170 p. [in Ukrainian]

APPLICATION OF METHODS FOR STUDYING THE FEATURES OF THE GEOLOGICAL STRUCTURE OF UNDERGROUND GAS STORAGE RESERVOIRS

Dubei N. V.

Cand. Geol.-Mineral. Sciences, associate professor
 Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas
 15, Karpatska Str., Ivano-Frankivsk, Ukraine, 76019
<https://orcid.org/0000-0002-9042-6886>
 e-mail: dubei0509@gmail.com

Annotation. The aim of the work is to apply methods for studying the features of the geological structure of underground gas storage facilities using the example of underground storage facilities in the Precarpathia. The research was conducted based on the application of the methodology for assessing the variability of reservoir parameters. The objects of study are the productive horizons of gas storage facilities in the Western Ukrainian region. The geological and industrial features of underground gas storage facilities in the Precarpathia were analyzed based on the processing of geological and geophysical materials. The paper presents methodological developments for studying the geological heterogeneity of reservoirs, which must be taken into account at the design stage of underground gas storage facilities. Based on the lithological and facies analysis and statistical processing of industrial and geological data, the nature of the heterogeneity of reservoirs in terms of the area of deposits and in terms of section was studied. It was established that the productive horizons of the Opar and Uher underground gas storage facilities are very heterogeneous. It should be noted that the variability of reservoir properties in terms of area is observed to a greater extent in the Uher underground storage facility, and in terms of section in the Opar underground storage facility. The results of the study of the geological properties of gas storage facilities are presented based on the analysis of the constructed maps: porosity, permeability, sand content, effective gas-saturated thicknesses, distribution of reservoir rocks, as well as geological and geophysical profiles. A number of statistical data processing methods were used. Histograms were constructed based on the results of processing the porosity and permeability values of productive horizons of underground gas storage facilities in the Precarpathian trough. When designing new gas storage facilities and when adjusting technological projects for UGSs in operation, it is recommended to take into account the variability of reservoirs, which affects the filtration properties of the reservoir, respectively, the amount of active gas volume and the productivity of production wells.

Keywords: underground gas storage; heterogeneity; reservoirs; deposit; filtration properties.