

П. С. Голуб, академік УНГА, генеральний директор, poltavargp@ukr.net,
Н. І. Наливайко, начальник групи геофізиків партії оцінки ресурсів
та підрахунку запасів, natalia.belash@mail.ru,
А. М. Людкевич, геофізик партії оцінки ресурсів та підрахунку запасів,
anastasiia.liudkevych@mail.ru
(ДП “Укрнаукагеоцентр”, м. Полтава, Україна)

АНАЛІЗ І ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЛЬТРАЦІЙНО-ЄМНІСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ УЩІЛЬНЕНИХ ПОРІД-КОЛЕКТОРІВ РОДОВИЩ ДНІПРОВСЬКО-ДОНЕЦЬКОЇ ЗАПАДИНИ (на прикладі Краснозаярського родовища)

Розглядається проблема побудови петрофізичних взаємозв'язків для ущільнених порід-колекторів. У статті проведено аналіз гранулометричного складу гірських порід і виконано групування за ознакою характеристики зв'язку коефіцієнта пористості і проникності.

Ключові слова: фільтраційно-ємнісні властивості, ущільнені породи, пористість, проникність, структура порового простору.

Ємнісні та фільтраційні характеристики є ключовими в петрофізичних залежностях, які розробляють для інтерпретації даних геофізичних досліджень свердловин (ГДС) під час пошуків родовищ нафти й газу. Їх систематизація дає змогу вирішувати завдання класифікації в процесі інтерпретації даних ГДС та оцінювати на їх основі перспективи нафтогазоносності регіонів. Метою цієї роботи є дослідження пористості і проникності гірських порід, оскільки їх функція є головним чинником для визначення граничних значень фізичних властивостей порід-колекторів. Зокрема, в подальшому, це дасть змогу визначити нижню межу граничних значень для ущільнених колекторів.

Завдання кореляції і класифікації петрофізичних залежностей виконують на основі баз даних геолого-геофізичної інформації. Бази петрофізичних досліджень необхідні для побудови математичних моделей колекторів і геологічних об'єктів,

оцінки фільтраційно-ємнісних властивостей і визначення структури пустотного простору складно побудованих (ущільнених) порід-колекторів [1].

За методами інтерпретації матеріалів ГДС, ущільнені колектори з об'єму продуктивних колекторів виключали, тому що загальноприйняті якісні та кількісні ($K_{II} < K_{II}^{пр}$) критерії промислових колекторів за ГДС характеризують їх як “щільні”, майже непроникні. Так, через відсутність підвищеного проникнення фільтрату промивальної рідини в пласти щільних порід криві БКЗ не відображають їх як колектори. За результатами мікробокового каротажу тонкі пропластки з підвищеним електричним опором на фоні високонепроникних порід виглядають як щільні непроникні породи, їх також виключають з ефективних товщ. На кривих акустичного каротажу ущільнені породи-колектори здебільшого характеризуються різким зменшенням інтервального часу.

Численними дослідженнями параметрів фільтрації флюїдів через ущільнені породи зафіксовано їх відхилення від закону Дарсі в діапазоні малих швидкостей потоку. Ущільнені колектори, на відміну від звичайних, складені переважно мінеральними зернами псаміто-алевритової структури і містять, як правило, більше глинистого або карбонатного цементу. У них переважають порові канали діаметром менше $1 \cdot 10^{-6}$ м, що зумовлює зростання питомої поверхні пор і підсилює її активність під час взаємодії з технологічними рідинами на різних етапах будівництва свердловин.

Поровий простір ущільнених порід істотно (>30 %) заповнений зв'язаною залишковою водою, а в газонасиченій частині після розкриття пластів можуть проявлятися специфічні ефекти, спричинені дією капілярних сил. Зростання капіляр-

них сил, а також поверхневої активності породи негативно відбивається на її здатності фільтрувати флюїди.

Достовірність усього вищевказаного підтверджується результатами досліджень ядерного матеріалу та інтерпретації геофізичних кривих, що проводилися по родовищах ДДЗ. Фільтраційно-ємнісні властивості порід візейських і турнейських відкладів вивчалися на зразках ядра Краснозаярського родовища.

Кількість зв'язаної води залежить від структури порового простору, фізико-хімічної активності поверхні пор, властивостей води. Графік зміни ефективної пористості від відкритої пористості показано на рис. 1, із цього графіка видно, що породи з відкритою пористістю <3 % уже мають ефективну пористість, тобто можуть віддавати вуглеводні.

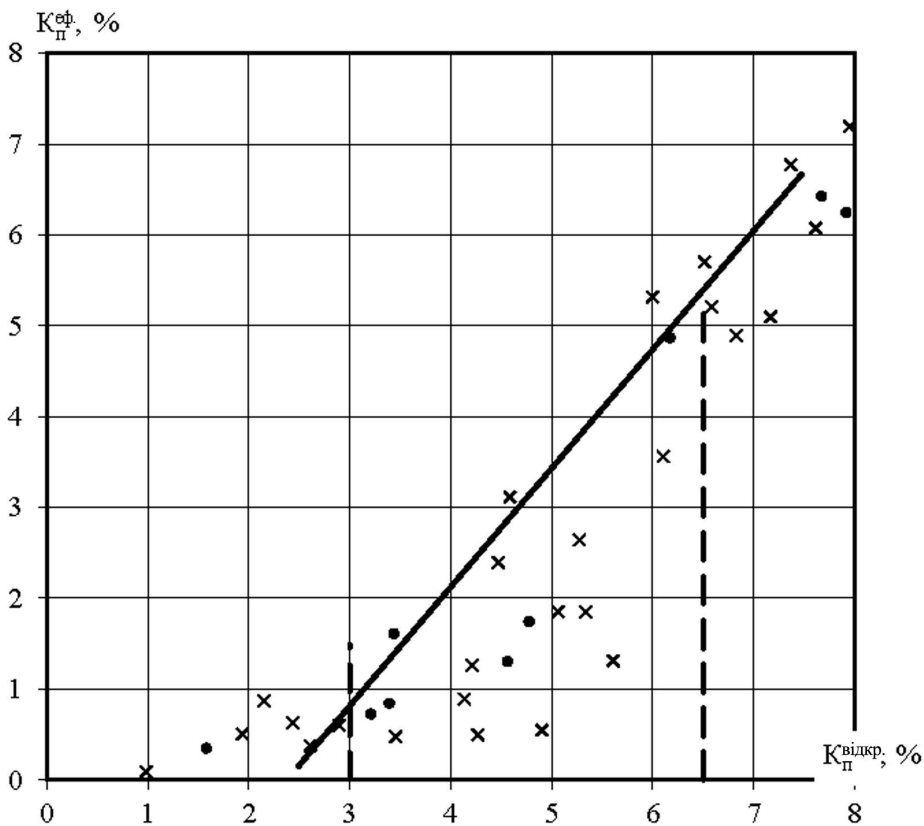


Рис. 1. Зв'язок відкритої та ефективної пористості для пісковиків $C_1V_1 - C_{1t}$ Краснозаярського родовища

Уміст залишкової води, змодельованої в лабораторних умовах, змінюється в ущільнених породах-колекторах з пористістю 3,0–6,7 % у дуже широкому діапазоні – від 10 до 98 % (рис. 2).

Вивчення структури порового простору та її вплив на фільтраційно-ємнісні властивості породи-колектора є важливим показником під час оцінки потенційного газовмісту ущільнених порід. Можливість визначення параметрів геометрії порового простору дає змогу визначати характеристики залежностей усіх фізичних властивостей порід-колекторів за даними пористості, питомої поверхні, геометрії пор і характеристик мінерального скелета [3].

Варто зазначити, що пористість і питома поверхня як елемент структури по-

рового простору мають чітку фізичну визначеність, та їх кількісні характеристики можна визначати експериментально як геологічними, так і геофізичними методами. Для дослідження оцінки структури порового простору застосовуються методи статистичного та фізико-експериментального моделювання. Одним з перших дослідників структури порового простору був С. Сліхтер (1899 р.), яким було доведено, що зміна коефіцієнта пористості пов'язана зі ступенем упаковки зерен, та отримана така залежність (рис. 3):

$$K_{np} = 6,28 \cdot 10^{-3} \cdot K_n^{1,38} \cdot d^2 / (1 - K_n).$$

Ця залежність пов'язує основні характеристики колекторів: пористість, діаметр пор, проникність і геометрію пор [5].

Розглянемо вплив різного діаметра і ступеня упаковки зерен на фільтраційні

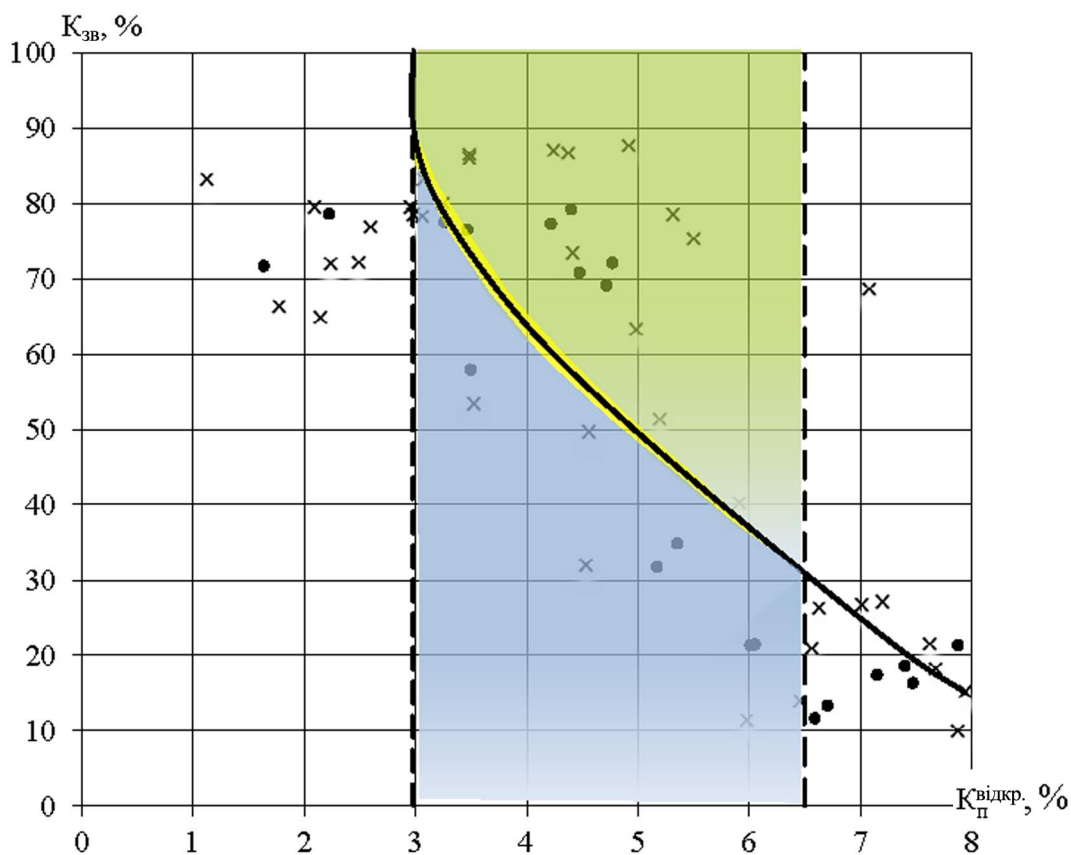


Рис. 2. Зв'язок пористості із залишковою водонасиченістю для пісковиків $C_1v - C_1t$ Краснозаярського родовища

властивості порід-колекторів за результатами дослідження гранулометричного складу скелета гірських порід, у результаті чого отримують шість фракцій (>1,0; 1,0–0,5; 0,5–0,25; 0,25–0,1; 0,1–0,05; 0,05–0,01). Уміст глинистої фракції (менше 0,01) визначається розрахунковим способом за різницею мас.

Дослідження базуються на лабораторних вимірюваннях зразків керна, відібраних з візейських і турнейських відкладів Краснозаярського родовища.

Верхньовізейські пісковики від світло-сірих до темно-сірих, дрібнозернисті, приховано-кристалічні, слабослюдисті, середньої міцності. У шліфі склад кварцовий з невеликою кількістю слюд. Структура алевро-псамітова. Зерна кварцу погано відсортовані, часто зчленовані за типом стилолітів. Присутні кристали турмаліну, циркону й анатазу.

Нижньовізейські пісковики сірі, темно-сірі, переважно кварцового та олігоміктового складу, рідше мезоміктові, в основному, не шаруваті, міцно- і середньозцементовані від дрібно- до різнозернистих, із глинистим і карбонатно-глинистим цементом. Структура алевро-псамітова. Переважає дрібнопсамітова фракція, але трапляються зерна і великопсамітової фракції. Мінералогічний склад пісковиків – кварц з рідкими плагіоклазами. Форма зерен кварцу – уламкова, малообкатана.

Акцесорні мінерали – анатаз, циркон, турмалін, пірит. Цемент базального типу, складений пелітоморфним каолінітом, гідрослюдами і піритом.

Турнейські пісковики світло-сірі, сірі, темно-сірі, неверствуваті, переважно дрібно- і різнозернисті, за складом кварцові та олігоміктові, іноді гравелитисті, міцно- і середньозцементовані з глинистим, карбонатно-глинистим цементом порового і базально-порового типу. У шліфі порода складається з кварцу, домішок 10–20 % польових шпатів (плагіоклази, калієві шпати), рідких уламків мікрокварцитів, кремнію, одиночних слюд. Зерна кварцу погано обкатані, багато з них регеновані. Польові шпати серицитизовані різною мірою, краї кородовані. Акцесорні мінерали представлені цирконом, турмаліном, анатазом. Рідко трапляються дрібні скупчення піриту.

Для ідентифікації зразків групи вибрано коефіцієнт пористості. Об'єм порового простору є основним параметром, який характеризує структуру порового простору. Опис характеристики розподілу кількості зерен за діаметром, за умови $K_{II} = \text{const}$, проводився за такими параметрами: середній розмір зерен, коефіцієнт асиметрії, діаметр частинок з максимальною модою, варіаційним розмахом. Оскільки гістограми будувалися за даними шестифракційного гранулометричного аналізу, то

Модель С. Сліхтера

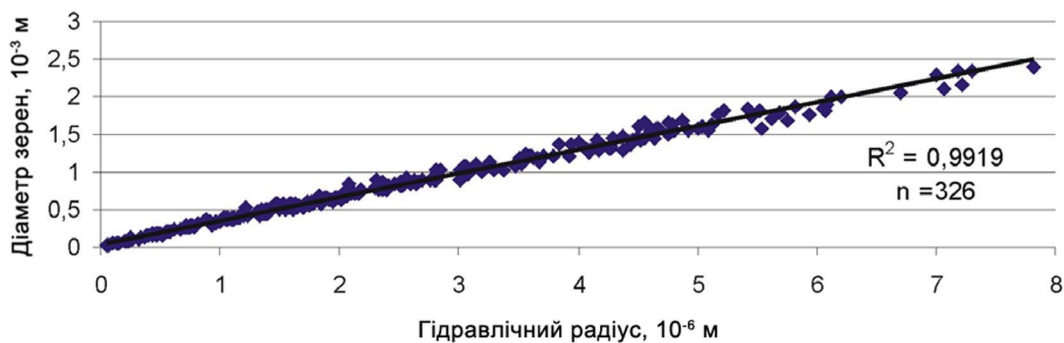


Рис. 3. Характеристика зв'язку діаметра зерен з гідравлічним радіусом

результати статистичних характеристик є дещо загублені.

На рис. 4 представлені приклади типів характеристик розподілу діаметрів дрібних частинок породи. Проведений аналіз розподілу зерен дав змогу визначити такі залежності:

– Від’ємна асиметрія вказує на перевагу фракцій з меншим діаметром зерен у скелеті породи, що й пояснює відносне зменшення проникності при однакових об’ємах порового простору ($A=-1,14$) (рис. 4а). Додатна асиметрія характеристики розподілу зерен за діаметром ука-

зує на зростання частки зерен з більшим діаметром ($A=0,079$) (рис. 4б). Коефіцієнт проникності змінюється залежно від коефіцієнта асиметрії. На рис. 4в, г чітко простежується подібна ситуація, проте характер розподілу принципово різний. Це пояснюється збільшенням частки зерен середнього піску (0,25–0,5).

– За коефіцієнтом ексцесу зразок на рис. 4д, відзначається значенням, меншим за нуль ($E=-1,3$), і має пологу форму, а зразок на рис. 4е – більшим за нуль ($E=1,99$) і має стрибкоподібну форму. У разі, коли коефіцієнт ексцесу менший

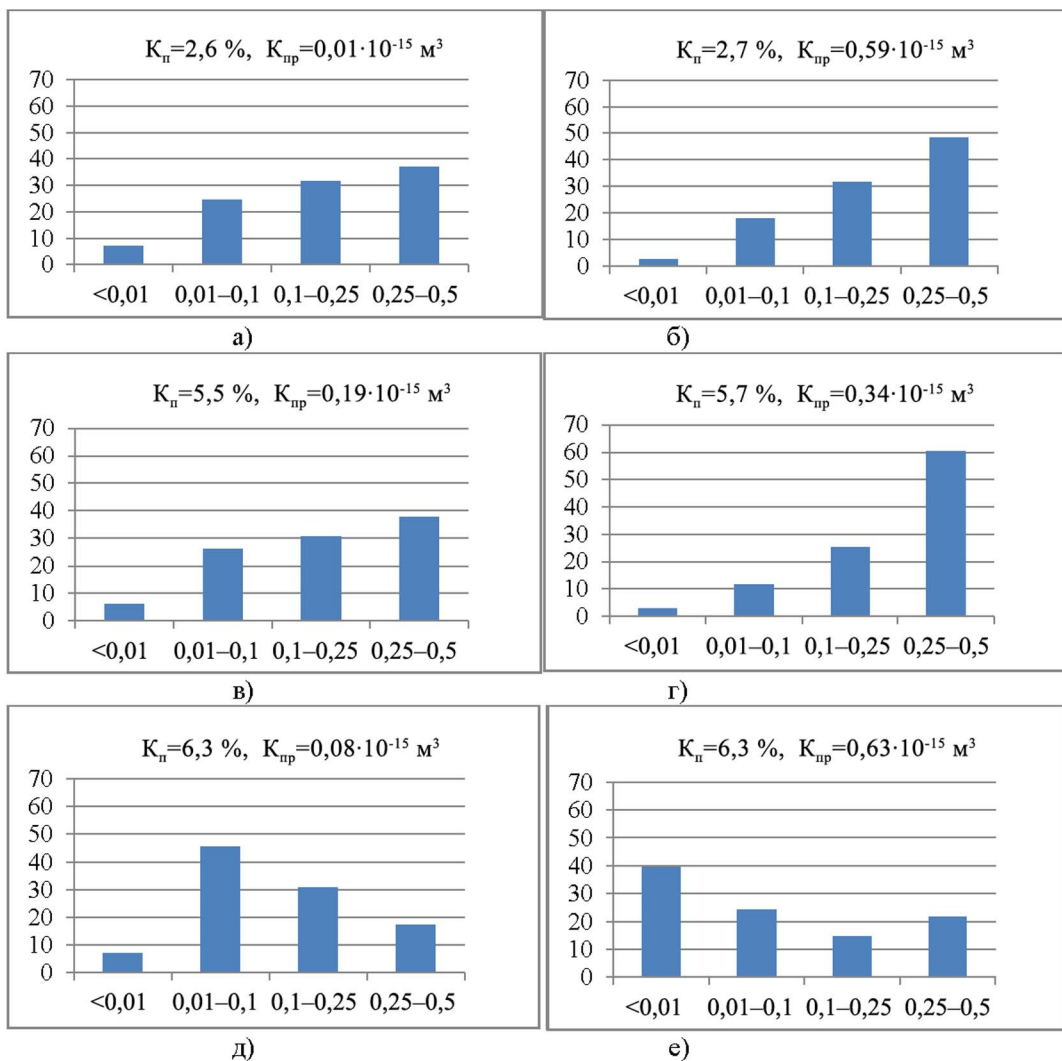


Рис. 4. Розподіл діаметра зерен за гранулометричним складом

від нуля, розподіл діаметра зерен можна описати як рівномірний. За рівномірного розподілу виникає ситуація, коли маленькі зерна розміщуються в проміжках між великими, і це призводить до зменшення коефіцієнта проникності.

Варто окремо зауважити, що на величину коефіцієнта проникності більше впливає частка зерен з малим діаметром, ніж глинистість породи. Тобто, як видно з рис. 4, при однакових значеннях K_{\perp} більша проникність спостерігається в зразках з меншим умістом фракції 0,01–0,1 (псаміто-алевритової), хоча на рис. 4е чітко видно, що вміст пелітової фракції значно вищий, аніж на рис. 4д. Та ж сама закономірність спостерігається і на інших родовищах ДДЗ (Абазівське, Березівське, Валюхівське, Комишнисянське, Котелевське, Сахалінське). Проте для більшої достовірності це твердження потребує доопрацювання.

В основу досліджень було поставлено те, що петрофізична модель різного типу ущільнених порід-колекторів базується на компонентному складі матриці породи, мінералогічному складі цементу та структурі порового простору, що в подальшому дасть змогу ідентифікувати ущільнені породи як потенційні колектори.

З метою їх адаптації до конкретних геологічних умов пошукових площ, а також визначення можливостей їх використання для підрахунку запасів, необхідно спрямувати подальші дослідження в напрямі виявлення кореляційних зв'язків фізичних і петрофізичних параметрів.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Вижва С. А., Безродна І. М., Козіонова О. О.* Аналіз фільтраційно-ємнісних властивостей карбонатних порід карбону Руденківсько-Пролетарського регіону за результатами петрофізичних досліджень//*Геоінформатика*. – 2012. – № 1 (41).
2. *Геолого-економічна оцінка Краснозаярського нафтогазоконденсатного родовища ВВ Полтавської області України. Звіт/ДП “Полтава РГП”*. – Полтава, 2008. – Кн. 1. – 350 с.
3. *Энгельгардт В.* Поровое пространство осадочных пород. – М.: Недра, 1964. – 232 с.

4. *Загороднюк П. А., Кашуба Г. А.* Перспективы наращивания углеводородного сырья на действующих месторождениях нефти и газа//*Нефть, газ, новации*. – 2011. – № 4.

5. *Старостін А. В.* Дослідження впливу структури порового простору на зв'язок колекторських і фільтраційних властивостей гірських порід (на прикладі нафтогазових родовищ Дніпрово-Донецької западини)//*Науковий вісник Національного технічного університету нафти і газу*. – 2006. – № 1 (13). – С. 12–20.

REFERENCES

1. *Vyzhva S. A., Bezrodna I. M., Kozionova O. O.* Analysis of filtration-capacitive properties Carbon carbonate rocks of Rudenkivs'ko-Proletars'kyj region based on the results of petrophysical studies//*Geoinformatyka*. – 2012. – № 1 (41). (In Ukrainian).
3. *Geological-economic evaluation of oil and gas of Krasnozajars'ke hydrocarbons field of Poltava region of Ukraine. Report/SE “Poltava RGP”*. – Poltava, 2008. – Book 1. – 350 p. (In Ukrainian).
2. *Jengelgardt V.* The pore space of sedimentary rocks. – Moskva: Nedra, 1964. – 232 p. (In Russian).
4. *Zagorodnjuk P. A., Kashuba G. A.* Prospects for increased hydrocarbon resources in existing oil and gas fields//*Neft, gaz, novacii*. – 2011. – № 4. (In Russian).
5. *Starostin A. V.* Investigation of the structure of the pore space to the link of reservoir and filtration properties of rocks (for example, oil and gas fields Dnieper-Donets basin)//*Naukovyj visnyk nacionalnogo tehnicnogo univertytetu nafty i gazu*. – 2006. – № 1 (13). (In Ukrainian).

Рукопис отримано 28.01.2015.

П. С. Голуб, poltavargp@ukr.net,

Н. И. Наливайко, natalia_belash@mail.ru,

А. М. Людкевич, anastasiia.liudkevych@mail.ru

(Государственное предприятие “Украинский геологический научно-производственный центр”)

АНАЛИЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЛЬТРАЦИОННО-ЕМКОСТНЫХ СВОЙСТВ УПЛОТНЕННЫХ ПОРОД-КОЛЛЕКТОРОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ДНЕПРОВСКО-ДОНЕЦКОЙ ВПАДИНЫ (НА ПРИМЕРЕ КРАСНОЗАЯРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ)

Рассматривается проблема построения петрофизических взаимосвязей для уплотненных пород-коллекторов. В статье проведен анализ гранулометрического состава горных пород и выполнено группировки по признаку характеристики связи коэффициента пористости и проницаемости.

Ключевые слова: *фильтрационно-емкостные свойства, уплотненные породы, пористость, проницаемость, структура порового пространства.*

P. S. Golub, poltavargp@ukr.net,

N. I. Nalyvayko, natalia_belash@mail.ru,

A. M. Liudkevych, anastasiia.liudkevych@mail.ru

(State Enterprise “Ukrainian geological research and production center”)

ANALYSIS AND STUDY OF RESERVOIR-FILTRATION PROPERTIES OF PRESSED RESERVOIR ROCKS OF FIELDS OF DNIPIER-DONETSK BASIN (FOR EXAMPLE OF KRASNOZAYARSKIE FIELD)

Dnieper-Donetsk depression has been and remains a major petroleum province of Ukraine by volume of hydrocarbon resources potential. And the most interesting are just pressed reservoir rocks, which bind significant prospects increase proven reserves of hydrocarbons. Actualities of additional exploration are open fields in the Dnieper-Donetsk depression currently not in doubt.

Despite high knowledge of oil and gas facilities are almost absent generalized data reservoir-filtration properties of pressed reservoir rocks of Dnieper-Donetsk depression.

The article deals with constructing petrophysical relationships for pressed reservoir rocks. The study is based on laboratory measurements of core samples taken from sediments of Krasnozayarske field. Studies conducted on the basis of physical modeling using systems of the identified parameter reservoir-filtration properties. Is briefly described of the behavior of geophysical curves against pressed reservoir rocks. Presents a graph of the effective porosity of the open porosity. Also modeled in laboratory conditions of remaining water content for pressed reservoir rocks. For research of estimation of the structure of the pore space are used statistical methods and physical and experimental modeling. A statistical analysis of the connection of standard hydraulic radius is carried out. The influence of different diameter and degree of packing of grains on filtration properties of reservoir rocks of the study skeleton size distribution of rocks is considered using statistical moments such as skewness and kurtosis. In the paper performed the grouping on the basis of characteristics due coefficient of porosity and permeability. The basis of the research was put that the petrophysical model different types of pressed reservoir rocks based on the component structure of the matrix rock, cement mineralogical composition and structure of the pore space, which in future will identify pressed reservoir rocks as potential collectors.

Keywords: *reservoir-filtration properties, pressed reservoir rocks, porosity, permeability, pore space structure.*