

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України



Науковий керівник:

доктор геологічних наук, професор
Федоришин Дмитро Дмитрович,
Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу,
Міністерство освіти і науки України
(м. Івано-Франківськ),
завідувач кафедри нафтогазової геофізики

Офіційні опоненти:

доктор геологічних наук, професор
Вижва Сергій Андрійович,
Київський національний університет
ім. Тараса Шевченка (м. Київ),
завідувач кафедри геофізики

кандидат геологічних наук
Старостін Андрій Вікторович,
ПП "Полтавське підприємство
геофізичних робіт" (м. Полтава),
головний геолог

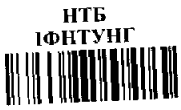
Захист дисертації відбудеться "29" червня 2016 р. о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.01 при Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу за адресою: 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15).

Автореферат розісланий "28" травня 2016 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
кандидат геологічних наук, доцент

Куровець С. С.



ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Головним напрямком розвитку національної економіки України є забезпечення її паливно-енергетичними ресурсами. Дуже важливою задачею, що спрямована на збільшення видобутку нафти і газу, є підвищення достовірності виділення нафтогазонасичених пластів-колекторів та оцінка їх колекторських властивостей у розрізах свердловин зі складною геологічною будовою. Достовірна оцінка нафтогазонасності порід-колекторів залежить від якості первинної геофізичної обробки даних геофізичних досліджень свердловин (ГДС) та результатів лабораторних вимірювань петрофізичних параметрів на зразках ядра, відібраного із продуктивних пластів. Інтерпретаційні системи обробки даних геофізичних досліджень свердловин тісно пов'язані з петрофізичною базою обґрунтування алгоритмів для визначення фільтраційно-ємнісних характеристик продуктивних порід. Необхідно відмітити, що для колекторів зі складною будовою матриці розробка нових геолого-геофізичних критеріїв оцінки їх нафтонасичення ускладнюється багатопараметричністю опису фізико-геологічних моделей. Існуючі технології створення петрофізичних моделей у цих умовах не задовольняють вимогам точності визначення фільтраційно-ємнісних параметрів і оцінки характеру насичення порід-колекторів. У зв'язку із цим дисертаційна робота, що присвячена виділенню порід-колекторів за новими геофізичними критеріями оцінки нафтонасичення карбонатних порід-колекторів, є актуальною. Отримані результати в процесі наукових досліджень мають науково-прикладне застосування, сприяють успішному видобутку та приросту видобувних запасів нафти.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота має науково-прикладний характер та відповідає галузевим планам НАК "Нафтогаз" України, програмам і темам Державної геологічної служби, Міністерства екології природних ресурсів. Проведені автором дослідження є складовою частиною науково-дослідної роботи "Уточнення геологічної будови структур і площ Бориславського, Долинського та Надвірнянського нафтопромислових районів, а також основою виявлення нових перспективних нафтогазонасних об'єктів за аналізом буріння і обробки геофізичних матеріалів".

Мета і задачі дослідження. Виділення порід-колекторів складнобудованих карбонатних розрізів, а також оцінювання їх характеру насичення за результатами акустичних та нейтронних методів є великою проблемою, для успішного вирішення якої необхідно було розв'язати наступні задачі:

- вивчити та встановити особливості геологічної будови карбонатних порід-колекторів юрської системи Лопушлянського родовища;
- розробити модель електропровідності складнобудованих карбонатних порід-колекторів з карбонатно-глинистим цементом;
- встановити геолого-геофізичні критерії виділення карбонатних порід-

колекторів за даними ГДС Лопушнянського нафтового родовища;

- дослідити вплив геометрії порового простору матриці карбонатних порід на швидкість поширення пружних хвиль;
- розробити методологію оцінки впливу геометрії порового простору на результати визначення коефіцієнта пористості за даними акустичного каротажу.

Об'єкт дослідження. Верхньоюрські складнопобудовані карбонатні породи Лопушнянського нафтового родовища.

Предмет дослідження. Геофізичні та петрофізичні характеристики складнопобудованих карбонатних порід-колекторів, а також чинники, що впливають на достовірність оцінки їх нафтонасичення.

Методи дослідження. Статистична обробка результатів експериментальних лабораторних досліджень вірців керна і даних свердловинних геофізичних досліджень продуктивних карбонатних порід у відкладах юрської системи. Аналіз теоретичних і експериментальних моделей взаємозв'язків петрофізичних параметрів продуктивних відкладів. Теоретичне моделювання акустичних та радіоактивних властивостей складнопобудованих карбонатних порід-колекторів.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

- вперше для карбонатних порід юрських відкладів Лопушнянського родовища встановлено особливості будови структури пустотного простору та мінералогічного складу матриці і складу її цементу;
- удосконалено модель електропровідності карбонатного колектора, яка враховує вплив на питомий електричний опір об'ємної глинистості в складі цементу породи;
- вперше запропоновано використання відносного критерійного параметра ψ , який вказує, як частка розсіяної глинистості матриці породи впливає на загальний вміст водню, що дозволяє виділити складнопобудовані карбонатні породи-колектори за результатами нейтронних методів;
- вперше для карбонатних порід юрських відкладів встановлено та розроблено геофізичний критерій оцінки впливу структури порового простору на швидкість розповсюдження пружних хвиль, який використовується під час оброблення даних акустичного каротажу.

Практичне значення одержаних результатів. Теоретичні положення і науково-практичні висновки, розроблені в дисертаційній роботі, реалізовуватимуться в процесі геолого-геофізичних досліджень на пошукових площах і родовищах України, розрізи яких виповнені складнопобудованими карбонатними породами-колекторами.

Окрім цього практичне застосування отриманих наукових результатів дасть змогу суттєво підвищити достовірність оцінки нафтогазонасичення складнопобудованих карбонатних порід-колекторів з використанням результатів акустичного та нейтронного каротажів.

Особистий внесок здобувача. Автором самостійно отримано всі положення та результати дисертаційної роботи, а також проведено експериментальні дослідження керна та моделювання петрофізичних взаємозв'язків фільтраційно-ємнісних параметрів карбонатних порід-колекторів.

За результатами петрографії та свердловинних геофізичних досліджень удосконалено методологію оцінки впливу геометрії пустотного простору юрських вапняків на швидкість пружних хвиль у процесі акустичного каротажу.

За результатами досліджень удосконалено електричну модель складно-побудованого карбонатного колектора. Проведено виділення карбонатного колектора з використанням акустичних та нейтронних критерійних параметрів.

Апробація результатів дисертації. Результати наукових досліджень, викладених у дисертації, доповідались на науково-практичних конференціях, а саме: Міжнародній науково-практичній конференції “Нафтогазова геофізика” (м. Івано-Франківськ, 2011); Міжнародній науково-практичній конференції “Розвиток наукових досліджень – 2014” (м. Полтава, 2014).

Публікації. За темою дисертації автором опубліковано 8 праць: наукових статей у фахових та міжнародних метричних виданнях – 5, тез доповідей – 3 (з них одноосібних статей – 2, тез доповідей без співавторів – 1).

Обсяг і структура роботи. Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел із 119 найменувань, двох додатків. Повний обсяг дисертації – 180 сторінок друкованого тексту комп'ютерного набору, ілюстрованого 6 таблицями та 40 рисунками.

Роботу виконано під керівництвом доктора геологічних наук, професора Д. Д. Федоришина, якому автор висловлює глибоку вдячність за постійну увагу, цінні поради та всебічну підтримку.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність проблеми, сформульовано мету і задачі досліджень, зазначено наукову та практичну цінність роботи тощо.

У першому розділі наведено результати аналізу та узагальнення науково-дослідницьких робіт з вивчення колекторських властивостей карбонатних порід-колекторів, встановлення особливостей їхньої будови та характер відображення їх у геофізичних полях.

Сучасний стан вивченості карбонатних порід літолого-стратиграфічних комплексів Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ), а особливо Західного регіону не дозволяє достовірно оцінити запаси нафти і газу, які сконцентровані у цих покладах. Карбонатні породи в результаті катагенетичних перетворень часто зазнають значних змін по мірі гідродинамічних процесів, які відбуваються у літосфері. Велике значення і вплив на формування карбонатних колекторів та їх фільтраційно-ємнісні

характеристики мають процеси сульфатизації, кальцитизації, доломітизації та явища утворення карсту і тріщинної пористості. Зони підвищеної тріщинуватості карбонатних порід і карсту, за сприятливих умов, можуть служити резервуаром для крупних покладів нафти і газу.

Враховуючи вище наведене можна сказати, що вибір оптимального способу і методу вирішення поставленої задачі, в складних геологічних умовах формування карбонатного колектора, ускладнюється неоднозначністю геофізичних полів, особливо при визначенні характеру насичення породи-колектора.

Виявлені та встановлені особливості геологічної будови карбонатних порід-колекторів юрських відкладів вказують на те, що їх нафтогазонасиченість формується за рахунок захоплення дозрівших і мігруючих вуглеводнів, які акумулюються у тріщинах та пустотах. У теригенну товщу геологічних розрізів вуглеводні поступають пізніше і розподіляються більш рівномірно, без утворень так званих концентрованих накопичень. Результати комплексного аналізу і узагальнення матеріалів досліджень карбонатних колекторів дозволили прогнозувати колекторські властивості глибокозалягаючих карбонатних порід крейди та верхньої юри за даними геофізики з використанням даних прямих випробувань у процесі освоєння і дослідження свердловин.

Проблему оцінювання коефіцієнтів кавернозності, тріщинуватості та літологічного розчленування геологічних розрізів висвітлюють у своїх роботах А.А. Пахольчук, Л. В. Потейко і І. А. Куклін, В.М. Курганський, О.О. Орлов, С.А. Вишва, Д.Д. Федоришин. Однак у висновках, зроблених за результатами досліджень, не обґрунтовано вплив на кінематичні та динамічні акустичні параметри карбонатного колектора широко розвинутої вторинної пористості (стололітові та субмеридіальні тріщини і мікротріщини).

Умови утворення верхньоярських карбонатних відкладів Передкарпатського прогину викладено у роботах М. В. Граб і І. Т. Попп. Авторами встановлено, що еволюція умов карбонатної седиментації у пізній юрі визначалась зміною обстановок осадконакопичення на стадії розкриття океанічного басейну Тетіс. Такі результати формували висновок про особливості структурної будови та компонентного складу матриці вапняків верхньої юри, однак обґрунтування результатів геофізичних досліджень з встановлення особливостей будови карбонатного типу колектора висвітлено недостатньо.

У другому розділі наведено результати петрофізичного моделювання колекторських властивостей карбонатних порід-колекторів у межах юрської системи Карпатської нафтогазонасної провінції, які дали можливість створити модель колекторів і на їх основі досліджувати функціональні зв'язки між фізичними і геологічними величинами з метою визначення колекторських властивостей за геофізичною інформацією. У своїй основі це багатопараметрична і дуже складна задача, для розв'язання якої використовувалися різні статистичні і аналітичні

методи. Розв'язання цієї задачі пов'язано із можливою невизначеністю зв'язку геологічних і фізичних параметрів пластів. Оброблення та інтерпретація результатів геофізичних досліджень карбонатних порід геологічних розрізів юрської системи ускладнюються проблемою, яка обумовлюється різноманітністю їхньої будови. Така різноманітність характеризується значною тріщинуватістю, кавернозністю та типом цементного матеріалу. Так, наприклад, у свердловині 5-Лопушна в інтервалі 4920 – 4928 м нижнівська свита верхньої юри виповнена вапняками за кольором кремового і світло-сірого відтінків, з прошарками доломітів та ангідритів. Такого типу вапняки характеризуються коефіцієнтом тріщинуватості, який змінюється в межах $K_{тр} = 3 - 8 \%$, коефіцієнт кавернозності рівний $K_{кв} = 1,5 - 3 \%$. Для цих порід-колекторів коефіцієнт гранулярної пористості складає $K_{п}^{гран} = 9 - 11 \%$, цемент матриці породи глинисто-вапняковий з добавками піщанистого матеріалу.

В той же час келовейський ярус середньої юри представлений органогенними вапняками і мергелями світло-сірого кольору. Коефіцієнт тріщинуватості змінюється в межах від 3 % до 6 %, коефіцієнт кавернозності від 1 % до 1,5 %, коефіцієнт гранулярної пористості 7 – 9 %, тип цементу карбонатний.

Мінералогічний склад матриці зазначених вапняків суттєво відрізняється від вище наведених карбонатних порід. Породи-колектори верхньої юри складаються із мусковіту, глауконіту, піриту, рутилу та окремих зерен циркону.

У вапняках середньої юри у матриці породи присутні в основному мінерали кварцу, польового шпату, одиничних зерен лейкоксену.

Результати макроопису органогенних вапняків нижнівської світи показали, що їх ефективний пустотний простір представлений ізометричними за формою тріщино-подібними утвореннями. За даними петрофізичних досліджень встановлено, що карбонатна порода є органогенно-детритовим складно-побудованим вапняком, тонкої і крупнозернистої структури, перекристалізованої, з різним розподілом капілярних, субкапілярних пор.

Різноманітність параметрів, що характеризують петрофізичні колекторські властивості юрських відкладів, ускладнює їх виділення та оцінювання типу насичення за даними ГДС. У зв'язку із цим при побудові петрофізичної моделі карбонатного колектора було взято двомірні та багатомірні петрофізичні взаємозв'язки коефіцієнтів загальної пористості, абсолютної і відносної проникності, які є базовими для вапняків верхньої і середньої юри. Також в процесі моделювання враховували структурний коефіцієнт вище вказаної карбонатної породи. Розрахунковим шляхом визначали середньозважений за часткою проникності ефективний радіус пор. Фізична суть цього параметра полягає в тому, що коли порові канали карбонатної породи, які визначають загальну пористість, мають однаковий радіус звужень, то порода мала б проникність, що рівна такій же при різних радіусах пор.

Середньозважений радіус пор у цьому випадку визначають за формулою:

$$r_{\text{сф}}^2 = \sum_1^m r_i^2 dm, \quad (1)$$

де dm – частка порового простору породи;

r_i – середнє значення радіусів звужень карбонатних порід у виділеному інтервалі їх залягання.

Враховуючи вищенаведене, нами встановлено для карбонатних верхньоюрських відкладів зв'язок абсолютної проникності із літолого-структурним коефіцієнтом (λ), коефіцієнтами загальної пористості та зв'язаної води:

$$K_{np} = K_n^{\text{сф}} \lambda^2 (1 - K_{зв})^3, \quad (2)$$

Враховуючи вираз (2), кінцева формула для розрахунку коефіцієнта загальної пористості карбонатних порід-колекторів верхньої юри буде мати вигляд:

$$K_n = \frac{K_{np}}{\lambda^2 (1 - K_{зв})^3}, \quad (3)$$

де K_{np} – абсолютна проникність карбонатної породи;

$K_{зв}$ – коефіцієнт зв'язаної води;

λ – літолого-структурний коефіцієнт.

Проведені комплексні лабораторні дослідження кернавого матеріалу верхньоюрських відкладів дозволили встановити блокову загальну пористість карбонатного колектора (8 %), з якого отримали промисловий приплив нафти з інтервалу 4335 – 4370 м свердловини 4-Лопушна.

Третій розділ присвячений проблемі виділення нафтонасичених карбонатних порід-колекторів за результатами комплексних геофізичних досліджень.

Відомі методики виділення продуктивних складнопобудованих порід карбонатного складу за результатами комплексу геофізичних методів не завжди характеризуються високою ефективністю у зв'язку з різноманітністю геометрії порового простору та нестандартними взаємозв'язками фізичних і геологічних параметрів.

Питанню виділення порід-колекторів карбонатного складу приділено значну увагу вченими-геофізиками Заляєвим Н.З., Горюновим І.І., Вижвою С.А., Курганським В.М., Грицишиним В.І., Федоришиним Д.Д., Івакіним Б.В., Булатовою Ж.М. та іншими, які розробили різні методико-технологічні прийоми інтерпретації геофізичної інформації, отриманої в процесі геофізичних досліджень карбонатних товщ.

Широкого розповсюдження набув метод “двох розчинів”, який базується на використанні двох розчинів з різною мінералізацією при заповненні рідиною пустотного простору порід. Головною умовою цього методу є суттєва різниця концентрації солі у розчині, яка обумовлює зниження питомого електричного опору породи та сприяє утворенню ефекту зниження електричного опору у тріщинно-кавернозних карбонатних породах. Такий висновок підтверджується результатами робіт Александрова Б. Л., Басіна Я. М., Арчі Г.Е., Дахнова В. Н., Ручкіна А. В. та інших вчених.

Одним із методів виділення інтервалів залягання карбонатних порід, представлених тріщинною або кавернозною пористістю, є метод часових замірів електричного опору, запропонований В. Н. Дахновим. Цей метод базується на тому, що зона проникнення (ЗП) бурового розчину у пласт змінює свій діаметр у часі. Збільшення діаметра ЗП зумовлено проникненням фільтрату у присвердловинну ділянку продуктивного пласта, що призводить до зміни електричного опору ЗП у часі.

Окрім вище наведених методів виділення колекторів карбонатного складу, які базуються на дослідженні електричних параметрів пластів, значну увагу приділено технологіям комплексної інтерпретації акустичних та нейтронних методів, електрометрії, природної гамма-активності. За результатами наукових досліджень Елланським М.М., Золяєвим Н.З. Шнурманом Г.А., Крінарі А.І., Абдухаликовим Я.Н. розроблено метод нормалізації діаграм за пористістю. Цей метод використовує інформацію з електричного опору пластів та значень інтенсивності вторинного гамма-поля нейтронного гамма-каротажу. Основною ознакою поділу порід на колектор та неколектор за типом порового простору є розбіжність кривих електричного опору та інтенсивності вторинного гамма-випромінювання, нормованих за пористістю.

Вивчення характеристик продуктивних відкладів верхньої юри Лопушнянського родовища проводили за геофізичною і геологічною інформацією, отриманою в результаті лабораторних експериментальних досліджень, та свердловинних промислово-геофізичних даних з використанням стохастичного аналізу емпіричних взаємозв'язків фізичних параметрів.

Однією з важливих характеристик карбонатних порід-колекторів є структурна будова пор, яка визначає об'єм пустотного простору та вміст залишкової води у продуктивному пласті, а тим самим обумовлює можливий вміст нафти і газу у породи-колекторі. На відміну від теригенних порід карбонатні породи за рахунок вторинної пористості можуть мати збільшений об'єм порового простору.

За результатами досліджень зв'язку природної і наведеної гамма-активності порід теригенного та карбонатного типу Лопушнянського родовища встановлено, що для теригенних порід спостерігається висока щільність зв'язку розсіяної глинистості у матриці породи з вмістом водню, в той час для карбонатних порід

характерна його відсутність.

У зв'язку з цим ми дослідили зв'язок електричного опору порід з інтенсивністю вторинного гамма-поля та величиною інтервального часу пробігу пружних ультразвукових хвиль. Об'єктами досліджень вибрано верхню та нижню пачки карбонатних порід юрських відкладів. Карбонатні породи для верхньої і нижньої пачок юрських відкладів характеризуються різними петрофізичними зв'язками.

Верхня пачка порід описується високим опором ρ_n^{EK} і підвищеними значеннями інтервального часу пружних хвиль ΔT до 222 мкс/м, а також високими значеннями інтенсивності вторинного гамма-поля (I_{ny}) до 3,5 ум.од. Нижня пачка порід характеризується широким діапазоном зміни величини питомого електричного опору продуктивних порід та нижчими значеннями інтенсивності вторинного гамма-поля, а також пониженими значеннями інтервального часу розповсюдження пружних хвиль (151 мкс/м).

Карбонаті породи цих двох пачок відкладів різною мірою характеризуються вмістом глинистої нерозчинної частки у матриці породи, яка впливає на утворення вторинних гамма-квантів за рахунок міцно зв'язаної води, типу флюїду, що заповнює пори, та структури порового простору колектора. У разі відсутності глинистої фракції у породі вміст водню буде обумовлений тільки типом порового простору та характеристикою заповнювача. Таким чином, інтенсивність вторинного гамма-поля не залежить від типу колектора, а пов'язана тільки з інтегральним вмістом водню в породі-колекторі.

На характеристику кількості вторинних та природних гамма-квантів впливає вміст глинистості, об'єм та будова порового простору. Тому для виділення карбонатної породи у теригенному розрізі нами пропонується новий відносний параметр Ψ , який характеризує відношення подвійного різницевого параметра нейтронного гамма-каротажу, що визначається часткою глинистих порід, до подвійного різницевого параметра природної радіоактивності досліджуваного пласта:

$$\Psi = \frac{\Delta I_{ny}}{\Delta I_{\gamma}}, \quad (4)$$

де ΔI_{ny} – подвійний різницевий параметр нейтронного гамма-каротажу досліджуваного пласта;

ΔI_{γ} – подвійний різницевий параметр природної гамма-активності досліджуваного пласта.

За результатами лабораторних та свердловинних досліджень теригенних та карбонатних порід Лопушнянського родовища геолого-геофізичними методами побудовано залежність критерію їх виділення (Ψ) від інтенсивності гамма-поля (рис. 1). Із рисунку видно чітке розмежування карбонатних та теригенних порід.

Величина значення критерію, що розподіляє карбонатні породи у теригенному розрізі, встановлюється на підставі аналізу геофізичної інформації та літологічного опису порід. У дисертаційній роботі наведено приклад розрахунку і розподілу параметра Ψ з глибиною (рис. 2), що дало змогу виділити пропущений нафтонасичений пласт при переінтерпретації геофізичних матеріалів. Проведені дослідження вказують на ефективність використання запропонованого критерію Ψ для виділення порід карбонатного розрізу.

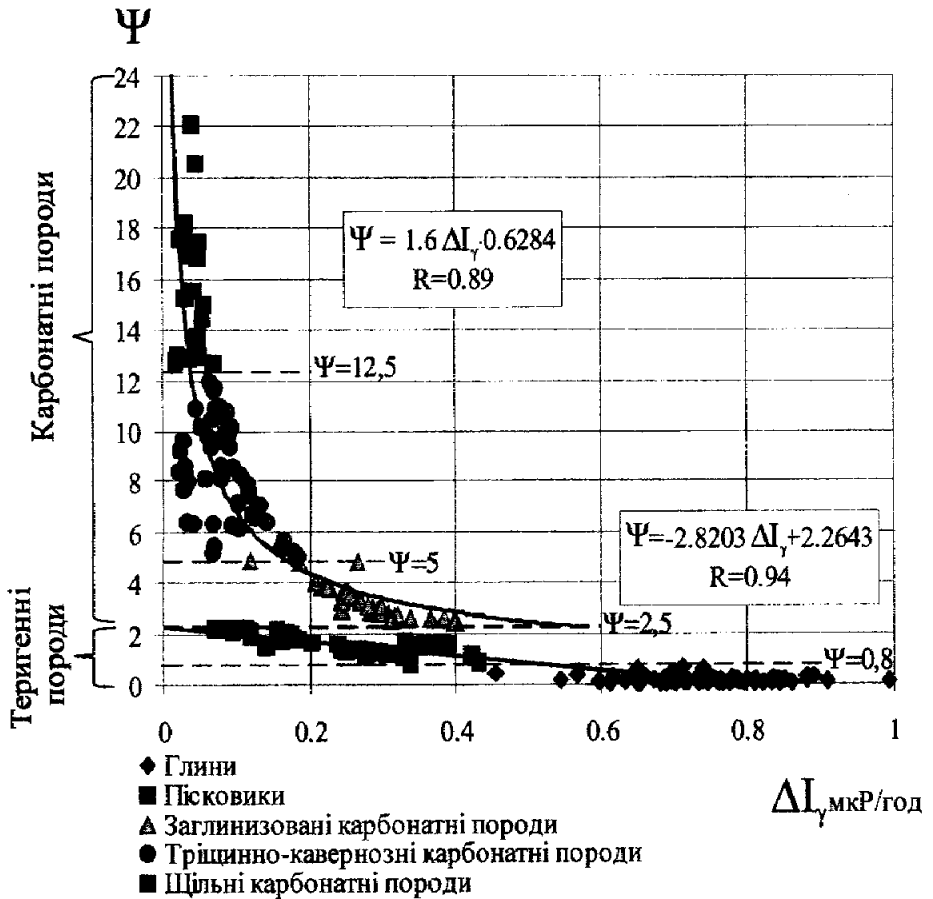


Рисунок 1 – Виділення порід карбонатного типу у геологічному розрізі Лопушнянського родовища за відносним критерієм Ψ

Четвертий розділ присвячений розподілу фізичних властивостей складно-побудованих порід-колекторів карбонатного типу.

Геологічні параметри, які характеризують карбонатний колектор, а саме об'єм порового простору, тип флюїду, що заповнює пори, геометрія внутрішнього порового простору, кількість глинистого матеріалу та співвідношення радіусів пор, не завжди адекватно відображаються у фізичних та геофізичних параметрах, які характеризують породи-колектори складної будови.

Основними методами визначення петрофізичних взаємозв'язків та оцінювання характеру насичення пластів у свердловинах з відкритим стовбуром є електрометрія. Встановлення зв'язків електропровідності з характером флюїду, що насичує складнопобудовану карбонатну породу, є трудомісткою складною задачею. У зв'язку із цим виникає потреба побудови петрофізичної моделі для такого типу карбонатних порід з урахуванням результатів електрометрії.

У дисертаційній роботі детально проаналізовано існуючі моделі електропровідності. В більшості випадків широкого застосування для однофазних середовищ набула модель Арчі Г. Е. На основі детального математичного аналізу формули Арчі Г. Е. встановлено, що для мономіткових чистих (не глинистих) порід вона є обгрунтованою і підтверджена ефективністю застосування на багатьох моделях смісно-фільтраційних властивостей порід-колекторів.

Для глинистих порід та порід складної будови Вендельштейн Б. Ю. запропонував модель електропровідності, у якій беруть участь два електропровідника – пластова та зв'язана вода, це так звана модель “двох вод”. Враховуючи, що прийнято базову ідею адитивності електропровідності електроліту і подвійного електричного шару, було розроблено велику кількість моделей, в основному спрямованих на врахування впливу на величину електропровідності порід будови літолого-стратиграфічних товщ конкретних родовищ.

На прикладі Лопушнянського нафтового родовища нами встановлено, що у карбонатних відкладах юрської системи продуктивні карбонатні пласти, в основному, характеризуються відкритою тріщинною пористістю, а також блочною, представленою мікротріщинами та тріщинами, заліченими еолітовими швами. Породи з таким типом пористості характеризуються пониженим електричним опором у продуктивній нафтонасиченій частині розрізу. Значення інтенсивності вторинного гамма-поля обумовлені загальною пористістю, до якої входять мікротріщинуватість та кавернозність карбонатних порід. Наявність вторинної пористості обумовлює підвищений вміст вологи у порах, що зменшує електричний опір нафтонасичених порід.

В юрських відкладах Лопушнянського родовища виділяються карбонатні породи з підвищеною глинистістю, яка також зумовлює зниження електричного опору породи. Таким чином, врахування глинистості у карбонатній породі є дуже важливою задачею при визначенні коефіцієнта насичення. З врахуванням цього

нами встановлено взаємозв'язок нерозчинного залишку із величиною глинистості для карбонатних порід юрської системи і запропоновано модель електропровідності, яка описується наступною формулою:

$$P_n = \frac{1}{(K_n^{acc} K_e)^m \left[1 - \frac{(0,67 + 0,72C_{cs}) \omega_{ad} (1 - \frac{\rho_w}{\rho_e})}{K_n^{acc} K_e} \right]} \quad (5)$$

де P_n – параметр пористості;

K_n^{acc}, K_e – загальна пористість та коефіцієнт водонасичення;

m – структурний коефіцієнт;

ρ_w, ρ_e – відповідно електричний опір подвійного шару та пластової води;

ω_{ad} – вміст адсорбованої води в частках об'єму нерозчинного залишку.

Геофізичні методи, результати яких використовуються для визначення коефіцієнта насичення продуктивних пластів, в основному відносяться до комплексу електрометрії свердловин, однак для визначення відношення електричних опорів нафтонасиченого і водонасиченого колектора при визначенні параметра насичення необхідно мати незалежну інформацію щодо об'єму порового простору за даними інших методів.

На Лопушлянському родовищі для визначення коефіцієнта пористості переважно використовували метод акустичного каротажу на основі даних лабораторних досліджень керна. Враховуючи те, що електричні і акустичні властивості порід, у загальному, є функцією об'єму і структури порового простору, нами проаналізовано зв'язок параметра пористості та інтервального часу проходження пружної хвилі $\Delta T = f(P_n)$ на колекції зразків керна. За результатами досліджень встановлено неоднорідність колекції вибраних зразків, хоча за рівняннями регресії взаємозв'язків $P_n = f(K_n)$, $\Delta T = f(K_n)$ сукупності характеризуються високим коефіцієнтом кореляції. Виділяються дві групи точок з характерною залежністю, яка вказує, що при однакових швидкостях проходження ультразвукової хвилі відмічаються різні значення електричного опору. Така ситуація пояснюється неоднаковою структурою порового простору карбонатної породи. Окремо для виділених груп точок вибірки інтервального часу та коефіцієнта пористості встановлено залежності $\Delta T = f(K_n)$, які характеризуються високим коефіцієнтом парної кореляції ($R = 0,93$). Завдяки врахуванню неоднорідності структури порового простору при визначенні коефіцієнта пористості ми зменшили абсолютну похибку вимірювання відповідно на $\Delta = 0,36$ і $\Delta = 1,5$.

Проведений у дисертаційній роботі аналіз взаємозв'язків акустичних та електричних параметрів порід з об'ємом порового простору насиченого колектора

дозволив встановити стулінь впливу геометрії пор у карбонатних породах на їх акустичні властивості. Для врахування геометрії порового простору на визначену пористість за даними акустичного каротажу виникла необхідність провести оцінювання типу пористості карбонатних порід юрської системи.

У дисертаційній роботі проведено моделювання акустичних властивостей карбонатної породи, яка характеризується кавернозною та тріщинною формою порового простору, з метою визначення чинників, що впливають на швидкість проходження пружної хвилі. Результати моделювання вказують на те, що швидкість повздожньої хвилі залежить не тільки від об'єму порового простору, але і від розмірів тріщин. Із збільшенням розмірів тріщини швидкість пружної хвилі у породі зменшується. Для карбонатних порід з кавернозною пористістю встановлено, що швидкість повздожньої хвилі збільшується із зменшенням діаметра каверн при однаковій пористості. Відбувається це за рахунок зміни геометрії порового простору, яка відображається у зростанні кількості спрямованих хвилеводів у монолітному скелеті породи.

Співставлення залежностей швидкості пружної хвилі і пористості колектора з тріщинною і кавернозною геометрією пор показало, що для тріщинного типу порід характерна менша швидкість пружної хвилі, а для порід із кавернозною пористістю – більша швидкість при однаковому об'ємі їх порового простору.

Аналіз літологічної характеристики карбонатних порід юрських відкладів Лопушнянського родовища доводить, що існує декілька груп цих порід із різними акустичними властивостями. Основними особливостями структурної будови цих відкладів є різна геометрія їхнього пустотного простору. В цьому випадку отримати однозначну оцінку за даними акустичних досліджень надзвичайно важко.

Нами пропонується використати результати вимірів нейтронних характеристик відкладів методом двозондового нейтрон-нейтронного каротажу за тепловими нейтронами. Різниця кількості імпульсів теплових нейтронів з використанням великого та малого зондів буде відповідати нейтронній характеристиці середовища сповільнення нейтронів до теплової енергії, тобто об'єму водню у поровому просторі породи. Використання двох розмірів зондів дає змогу визначити величину декременту затухання теплових нейтронів, який є функцією вмісту водню породи-колектора та застосовується для визначення коефіцієнта пористості. Для розділення порід карбонатного типу за структурою порового простору пропонується використати відносний параметр R , який записується наступною формулою:

$$R = (\Delta T_{\text{сим}} - \Delta T_{\text{роз}}) / \lambda \quad (7)$$

де $\Delta T_{\text{роз}}$ – розраховане значення інтервального часу;
 $\Delta T_{\text{сим}}$ – вимірне значення інтервального часу;

λ – декремент затухання теплових нейтронів ($\lambda = \frac{Z_2 - Z_1}{\ln[I_n^B(Z_2)^2 / I_n^M(Z_1)^2]}$, де:

Z_1 і Z_2 – розміри зондів; I_n^B – інтенсивність потоку теплових нейтронів, зареєстрованих великим зондом; I_n^M – інтенсивність потоку теплових нейтронів, зареєстрованих малим зондом).

Відносний параметр R використовується як критерій оцінки типу пористості карбонатної породи та характеризує частку відхилення виміряного значення інтервального часу від теоретично розрахованого з мінімальною пористістю для кавернозних порід до кількості теплових нейтронів, які поглинаються в проміжку між великим і малим зондами. Таким чином, параметр R вказує, яка частка водню приходиться на різницю розрахованого і виміряного значення ΔT . Розрахунок величини інтервального часу ($\Delta T_{\text{роз}}$) для породи-колектора проводився на моделі за формулою, яка запропонована Ф.Гесманом.

За геофізичною інформацією у свердловині 30-Лопушна виконано розрахунки величини параметра R для різних інтервалів продуктивної частини юрських відкладів. Величина критерію R для карбонатних порід у виділених інтервалах суттєво відрізняється ($R = 32 \div 0,4$). Значна різниця величини критерію R , яка вказує на різні акустичні властивості досліджуваних порід, дозволяє за його значенням виділити породи карбонатного складу з кавернозною, тріщинною пористістю та заглинизовані карбонатні відклади.

За результатами комплексу нейтронних та акустичних досліджень з врахуванням вищевказаних критеріїв ψ та R у свердловині 30-Лопушна виділено пропущені пласти (рис. 3). За величиною критерію Ψ виділено карбонатні породи з кавернозною і тріщинною пористістю та щільні прошарки вапняків та доломітів. За величиною критерію R виділяються інтервали порід із значеннями $R = 7$, які характеризуються кавернозною пористістю, інтервали з величиною $R = 18$ відносяться до порід з тріщинуватою пористістю, а породи зі значенням $R = 27$ відносяться до заглинизованих карбонатних відкладів юрського віку.

Запропонована вперше технологія використання критеріїв виділення та оцінювання карбонатних порід на прикладі Лопушнянського родовища дозволила підвищити достовірність визначення коефіцієнта пористості за результатами акустичного та нейтрон-нейтронного каротажів. Запропоновані критерій виділення порід-колекторів карбонатного типу Ψ та критерій оцінки типу пористості R дозволяють оперативно проводити геофізичну інтерпретацію карбонатного геологічного розрізу.

ВИСНОВКИ

У дисертації, що є завершеною науково-дослідною роботою, науково і практично обґрунтовано актуальну проблему, пов'язану із виділенням нафтонасичених складнопобудованих порід-колекторів у геологічних розрізах карбонатного типу. За результатами досліджень кернавого матеріалу, оброблення та інтерпретації великого об'єму матеріалів геофізичних досліджень свердловин розроблено критеріальні параметри, які лежать в основі виділення нафтонасичених порід-колекторів вехньоюрських карбонатних відкладів Лопушнянського родовища. Головні результати даної роботи можна сформулювати у формі наступних тверджень:

1. За результатами геологічних та геофізичних даних досліджено особливості геологічної будови карбонатних порід-колекторів юрської системи Лопушнянського родовища.

2. На основі аналізу електропровідності гірських порід запропоновано модель електропровідності складнопобудованих порід-колекторів карбонатного типу з глинисто-карбонатним цементом, яку апробовано на прикладі юрських відкладів Лопушнянського родовища.

3. Встановлено критеріальний відносний параметр Ψ для виділення нафтонасичених складнопобудованих порід-колекторів карбонатного типу за даними нейтронного-гамма та гамма-каротажів.

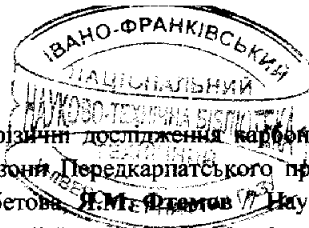
4. Розроблено нову методологію оцінки типу порового простору складно побудованих порід карбонатного типу за інформацією методів акустичного та нейтрон-нейтронного каротажів.

5. Встановлено зв'язок швидкості розповсюдження поздовжніх ультразвукових хвиль з електричними параметрами карбонатних порід за умов врахування впливу геометрії їх пустотного простору та типу пористості при незмінному об'ємі.

Отримані у дисертаційній роботі наукові і практичні результати є основою комплексного підходу до вирішення проблеми виділення пропущених нафтонасичених складнопобудованих порід-колекторів карбонатного типу, є науково обґрунтованими, базуються на великій кількості фактичного матеріалу і апробовані в процесі інтерпретації результатів ГДС Лопушнянського нафтового родовища.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. **Фтемов Я.М.** Особливості будови структури порового простору карбонатних колекторів на Лопушнянському нафтовому родовищі / Я.М. Фтемов // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ – Івано-Франківськ – 2012. –



№ 4(45). – С. 54-63.

2. Федоришин Д.Д. Комплексні геофізичні дослідження карбонатних порід-колекторів юрських відкладів зовнішньої зони Передкарпатського прогину / Д.Д. Федоришин, І.О. Пятковська, М.С. Махамбетова, **Я.М. Фтемов** // Науковий вісник ІФНТУНГ. Івано-Франківськ – 2014. – № 1(36), С. 18-26. *(Особистий внесок – обробка результатів геофізичних досліджень свердловин, формування висновків. Участь автора – 50 %).*

3. **Фтемов Я.М.** Виділення нафтонасичених порід-колекторів карбонатного складу на прикладі Лопушнянського родовища / **Я.М. Фтемов** // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ – Івано-Франківськ – 2015. – № 4(56). – С. 46-56.

4. Федоришин Д.Д. Петрофізична основа інтерпретації результатів геофізичних досліджень карбонатних порід-колекторів для визначення їхніх колекторських параметрів / Д.Д. Федоришин, О.М. Трубенко, **Я.М. Фтемов**, С.Д. Федоришин // Сборник научных трудов Sword.– Иваново: Маркова АД, 2014 – Выпуск 2. Том 31. – 16-21. РИНЦ. ЦИТ:214-163. *(Особистий внесок – формування завдання, встановлення взаємозв'язків між геологічними і геофізичними параметрами. Участь автора – 35 %).*

5. Старостін В.А. Критерійний підхід до оцінки фільтраційно-ємнісних характеристик порід-колекторів складної будови за геофізичними методами / В.А. Старостін, Я.М. Коваль, **Я.М. Фтемов** // Сборник научных трудов Sword.– Иваново: Маркова АД, 2014 – Выпуск 2. Том 31. – 26-32. РИНЦ. ЦИТ:214-423. *(Особистий внесок – формування завдання, проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, формування висновків. Участь автора – 50 %)*

6. **Фтемов Я.М.** Уточнення геологічної будови юрських відкладів Лопушнянського нафтогазового родовища / **Я.М. Фтемов** // Нафтогазова геофізика: Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (м. Івано-Франківськ, 25-29 квітня 2011 р). – Івано-Франківськ: вид-во ІФНТУНГ, – 2011. – С. 109-111.

7. Старостін В.А. Побудова моделей електропровідності адаптованих до геологічних умов складнобудованих порід-колекторів / В.А. Старостін, Я.М. Коваль, **Я.М. Фтемов** // “Розвиток наукових досліджень 2014”: Матеріали десятої міжнародної науково-практичної конференції (м. Полтава, 24-26 листопада 2014 р) – Полтава: вид-во “ІнтерГрафіка”, 2014. – Т. 5. – С. 39-42. *(Особистий внесок – аналіз попередніх досліджень, формування завдання, проведення досліджень. Участь автора – 60 %).*

8. Федоришин Д.Д. Особливості будови структури порового простору карбонатних порід-колекторів Лопушнянського нафтогазового родовища / Д.Д. Федоришин, О.М. Трубенко, **Я.М. Фтемов**, С.Д. Федоришин // “Нафтогазова освіта та наука: стан та перспективи” Матеріали науково-технічної конференції (м. Івано-Франківськ, 10-12 грудня 2014 р) – Івано-Франківськ: вид-во ІФНТУНГ, –

2014. – С. 176-178. (Особистий внесок – аналіз попередніх досліджень, формування завдання, проведення досліджень. Участь автора – 40 %).

АНОТАЦІЯ

Фтемов Я.М. Виділення нафтонасичених порід-колекторів юрських відкладів за геолого-геофізичними критеріями (на прикладі Лопушнянського нафтового родовища) – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата геологічних наук за спеціальністю 04.00.22 – “Геофізика”. – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, 2016.

У дисертаційній роботі вирішується ряд важливих задач, які виникають під час виділення карбонатних порід-колекторів та визначення їх колекторських властивостей.

За результатами дослідження геологічної будови Лопушнянського родовища встановлено, що карбонатні породи-колектори верхньої юри представлені вапняками складної будови (різного літологічного складу із наявністю тріщинної, кавернозної та відкритої пористості). За літолого-петрофізичною характеристикою, розподілом пустот порового простору та наявності глинисто-карбонатного цементу матриці карбонатні породи-колектори відносяться до третьої групи петрофізичних моделей.

З метою підвищення однозначності розв’язання задачі виділення і розчленування порід карбонатного складу вперше запропоновано критерій виділення карбонатних порід Ψ у загальному літотипі порід, який характеризує частку дисперсної фракції до загального водневмісту породи.

На основі аналізу електропровідності гірських порід запропоновано модель електропровідності для порід-колекторів карбонатних відкладів Лопушнянського нафтового родовища із значним вмістом глинистого матеріалу.

За результатами дослідження зв’язку швидкісних характеристик гірської породи карбонатного типу з її питомим електричним опором встановлено залежність швидкості проходження пружної хвилі від геометрії порового простору.

Шляхом модельних розрахунків швидкості проходження пружної хвилі у породи-колекторі з кавернозною і тріщинною пористістю встановлено збільшення швидкості хвилі в породи з кавернозною пористістю порівняно з тріщинною пористістю при однаковому об’ємі порового простору.

Вперше запропоновано критерій оцінки типу пористості для розділення порід карбонатного складу за структурою порового простору на основі використання відносного параметра R , який характеризує частку відхилення виміряного значення інтервального часу від теоретично розрахованого з мінімальною пористістю для кавернозних порід до кількості теплових нейтронів, що утворились при

проходженні сповільнених нейтронів між великим і малим зондами методу двозондового нейтрон-нейтрон каротажу за тепловими нейтронами.

Ключові слова: геофізичні дослідження свердловин, карбонатні породи, фільтраційно-ємнісні властивості, пористість, насичення, порода-колектор, критерійний параметр, структура порового простору, нейтрон-гамма каротаж, гамма каротаж, акустичний каротаж.

АННОТАЦІЯ

Фтемов Я.М. Выделение нефтенасыщенных пород-коллекторов юрских отложений по геолого-геофизическим критериям (на примере Лопушнянского нефтяного месторождения) – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата геологических наук по специальности 04.00.22 – “Геофизика”. – Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, г. Ивано-Франковск, 2016.

В диссертационной работе решается ряд важных проблем, которые возникают в процессе выделения карбонатных пород-коллекторов та определения их коллекторских свойств.

Представленные в диссертационной работе результаты петрофизического моделирования коллекторских свойств карбонатных пород юрской системы Лопушнянского месторождения позволили создать модель коллекторов и на их основе исследовать функциональные связи между физическими и геологическими величинами с целью определения коллекторских свойств по геофизической информации.

По результатам анализа взаимосвязей геофизических параметров, измеренных в карбонатному геологическому разрезе скважины, которые характеризуют электрическое сопротивление, скорость ультразвуковых упругих волн, интенсивность природной гамма-активности та интенсивность излучения радиационного захвата тепловых нейтронов, показана возможность выделения пород карбонатного состава по различной структуре порового пространства.

Для характеристики геологического объекта с целью увеличения однозначности решения задачи выделения и расчленения пород карбонатного состава впервые рекомендовано критерий выделения карбонатных пород Ψ в общем литотипе пород, который характеризует долю дисперсной фракции относительно общего водородосодержания породы. Выполненные исследования связи интенсивности вторичного гамма-поля с относительным параметром Ψ терригенного и карбонатного состава позволили установить новый подход для анализа влияния дисперсной глинистой фракции и строения коллектора на общий объем пустот коллекторов. Породы карбонатного типа принципиально отличаются по характеру связи от пород терригенного состава.

На основе анализа электропроводности горных пород предложена модель электропроводности для пород-коллекторов карбонатных отложений Лопушнянского нефтяного месторождения с глинистым цементом.

По результатам исследования связи скоростных характеристик горной породы карбонатного типа с ее удельным электрическим сопротивлением установлена зависимость скорости прохождения упругой волны от геометрии порового пространства.

Модельные расчеты скорости прохождения упругой волны в породе-коллекторе с кавернозной и трещинной пористостью установлено увеличение скорости упругой волны в породе с кавернозной пористостью сравнительно с трещинной пористостью при одинаковом объеме порового пространства.

Впервые предложен критерий оценки типа пористости для разделения пород карбонатного состава по структуре порового пространства на основе использования относительного параметра R , который характеризует долю отклонения измеренного значения интервального времени от теоретически рассчитанного с минимальной пористостью для кавернозных пород к количеству тепловых нейтронов, которые образовались при прохождении замедленных нейтронов между большим и малым зондами метода двухзондового нейтрон-нейтрон каротажа по тепловым нейтронам.

Ключевые слова: геофизические исследования скважин, карбонатные породы, фильтрационно-емкостные свойства, пористость, насыщение, порода-коллектор, критериальный параметр, структура порового пространства, нейтрон-гамма каротаж, гамма-каротаж, акустический каротаж.

ABSTRACT

Ftemov Ya. M. Distinguishing Oil-Saturated Reservoir Rocks of Jurassic Deposits Based on Geological and Geophysical Criteria (on Example of Lopushnianske Oil Field) – Manuscript.

Dissertation for the degree of Candidate of Geological Sciences in 04.00.22 – “Geophysics”. – Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 2016.

The dissertation thesis solves a number of important problems that arise when distinguishing carbonate reservoir rocks and determining their reservoir properties.

Based on the study results of geologic structure of the Lopushnianske field, it was found out that carbonate reservoir rocks of the Upper Jurassic are represented by complex structure limestones (with different lithological composition and presence of fracture, cavernous, and effective porosity). Based on the lithological and petrophysical characteristics, distribution of the porous space cavities and presence of the clay and carbonate matrix cement, carbonate rocks were divided as the third group of petrophysical model.



In order to improve unambiguity of solution of the problem of distinguishing and stratification of the carbonate rocks, for the first time there was suggested a criterion Ψ for distinguishing carbonate rocks in the general rock lithotype that characterizes the ratio of the dispersion fraction and general rock water content.

Based on the analysis of the rock electrical conductivity, there was developed a model of electrical conductivity for reservoir rocks of carbonate deposits of the Lopushnianske oil field with the considerable content of clay materials.

Based on the study results of the connection between velocity characteristics in the carbonate type rock and its specific electrical resistance, there was found out the dependence of the elastic wave velocity on the porous space geometry.

Model calculations of the elastic wave velocity in the reservoir rock with cavernous and fracture porosity determined an increase of the wave velocity in the rock with cavernous porosity when compared with the fracture porosity at the same porous space volume.

For the first time there was suggested a criterion for evaluation of the porosity type for stratification of carbonate rocks in accordance with the porous space structure with the help of the relative parameter R that characterizes the ratio of deviation of the measured value of interval time and theoretically calculated one with minimum porosity for cavernous rocks and number of thermal electrons that formed when decelerated electrons went between big and small sondes of the dual neutron logging method after the thermal neutrons.

Key words: geophysical well logging, carbonate rocks, porosity and permeability properties, porosity, saturation, reservoir rock, criterion parameter, porous space structure, neutron gamma logging, gamma logging, acoustic logging.