

550.832(043)
799

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ**

ПЯТКОВСЬКА ІРИНА ОЛЕГІВНА



УДК 550.832

**ОСОБЛИВОСТІ ВИДІЛЕННЯ ГАЗОНАСИЧЕНИХ ТОВЩ У
ТОНКОШАРУВАТИХ ВІДКЛАДАХ ПЕРЕДКАРПАТСЬКОГО
ПРОГИНУ ЗА ДАНИМИ ГЕОФІЗИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

04.00.22 – Геофізика

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата геологічних наук

Івано-Франківськ – 2013

Дисертація на правах рукопису

Робота виконана 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 геофізичних досліджень свердловин.

Офіційні опоненти:

- доктор геологічно-мінералогічних наук **Лизун Степан Олексійович**, заступник директора з наукової роботи Інституту економіки, природокористування та сталого розвитку НАН України, професор, почесний розвідник надр України, м. Київ

- кандидат геологічних наук **Кашуба Григорій Олексійович**, перший заступник генерального директора, головний геолог ТОВ «Надра інтегровані рішення», м. Київ

Захист відбудеться “27” червня 2013 р об 11⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 20.052.01 у 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 “24” травня 2013 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради К 20.052.01
кандидат геолого-мінералогічних наук, доцент

Жученко Г.О.



Загальна характеристика роботи

Актуальність теми. Виснаження покладів вуглеводнів на незначних глибинах нафтогазових родовищ, призвело до зменшення видобувних енергетичних запасів нафти і газу, цим самим зумовило необхідність їх пошуку на великих глибинах, а також в геологічних розрізах складної будови. До такого типу розрізів належать тонкошаруваті літолого-стратиграфічні неогенові комплекси Більче-Волицької зони в яких сконцентровано основні газові і газоконденсатні поклади. Оцінка перспективності таких комплексів та виділення в їхньому розрізі продуктивних порід-колекторів є надзвичайно актуальною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота відповідає «Енергетичній стратегії України на період до 2030 р.», що передбачає підвищення видобутку вуглеводнів з родовищ, що знаходяться в експлуатації (Вижомлянське, Грушівське, Летнянське) та пошуки, розвідку і прискорену розробку запасів нових родовищ.

Дисертаційна робота безпосередньо пов'язана з виробничими планами та завданнями ДПГ «Укргеофізика», Івано-Франківської експедиції геофізичних досліджень у свердловинах, при виконанні виробничих і науково-дослідних робіт з оцінки підрахункових параметрів складнобудованих колекторів нафти і газу.

Мета і завдання досліджень. Основною метою роботи є розроблення методичних основ виділення продуктивних порід-колекторів у тонкошаруватому піщано-глинистому розрізі за результатами ГДС.

Для досягнення мети необхідно було розв'язати такі завдання:

- проаналізувати та узагальнити існуючі методики виділення порід-колекторів у тонкошаруватих геологічних розрізах та визначення їх колекторських властивостей;
- дослідити вплив тонкошаруватості піщано-глинистих розрізів на покази електричного та акустичного каротажу;
- дослідити можливості використання параметрів вищого порядку математичної статистики у комплексі з результатами геофізичних свердловинних досліджень для розчленування тонкошаруватих геологічних розрізів та виділення продуктивних порід-колекторів;
- розробити методологію виділення колекторів у тонкошаруватому розрізі за даними акустичного каротажу;
- дослідити вплив тонкошаруватого піщано-глинистого розрізу на результати імпульсного нейтрон-нейтронного каротажу;

- удосконалити методику виділення продуктивних порід-колекторів у тонкошаруватих розрізах за даними імпульсного нейтрон-нейтронного каротажу.

Об'єкт дослідження. Неогенові відклади Вижомлянського, Грушівського та Летнянського газоконденсатних родовищ, що розташовані у північно-західній частині Більче-Волицької зони Передкарпатського прогину.

Предмет дослідження. Тонкошаруваті піщано-глинисті породи-колектори нижньодашавської світи.

Методи дослідження. Статистична обробка результатів геофізичних досліджень свердловин, математично-статистичний аналіз, а також багатовимірний статистичний аналіз результатів лабораторних досліджень взірців керна і даних свердловинних геофізичних досліджень. Аналіз теоретичних та експериментальних петрофізичних моделей, що характеризують продуктивні неогенові літолого-стратиграфічні комплекси.

Фактичний матеріал. Матеріали геолого-геофізичних досліджень свердловин, результати експериментальних досліджень керна та дані випробувань, фізичні характеристики пластів, геологічні побудови розрізів неогенових відкладів Вижомлянського, Грушівського та Летнянського газоконденсатних родовищ, фондові матеріали та літературні джерела.

Наукова новизна одержаних результатів. Проведені теоретичні та практичні дослідження дали змогу одержати такі нові наукові і практичні результати:

- вперше для неогенових відкладів Більче-Волицької зони Передкарпатського прогину розраховано граничне значення коефіцієнта середнього вертикального розчленування геологічного об'єкта тонкошаруватої будови та встановлено коефіцієнт середньої вертикальної мінливості для розрізів такого типу;
- розроблено методику виділення газонасичених порід-колекторів у тонкошаруватому піщано-глинистому розрізі за даними акустичного каротажу;
- вперше обґрунтовано ефективність використання статистичних моментів вищих порядків для експрес-інтерпретації результатів геолого-геофізичних досліджень тонкошаруватих геологічних розрізів;
- вперше розроблено методику виділення продуктивних порід-колекторів у тонкошаруватому неогеновому геологічному розрізі із застосуванням результатів імпульсного нейтрон-нейтронного каротажу.

Практичне значення одержаних результатів полягає у теоретично обґрунтованому та експериментально доведеному способі виділення газонасичених порід-колекторів у тонкошаруватих геологічних розрізах газоконденсатних родовищ Більче-Волицької зони Передкарпатського прогину. Теоретичні положення та практичні висновки, розроблені у дисертаційній роботі, реалізуватимуться при дослідженні пошукових і розвіданих площ, родовищ України, розрізи яких виповнені породами колекторами складної будови.

Практичне застосування отриманих результатів дасть змогу суттєво підвищити ефективність геолого-геофізичних досліджень внаслідок удосконалення методик інтерпретації результатів ядерно-фізичних методів досліджень тонкошаруватих геологічних розрізів.

Особистий внесок здобувача. Автором дисертації на основі аналізу та узагальнення результатів свердловинних і експериментальних досліджень порід-колекторів, що виповнюють тонкошаруваті неогенові розрізи, а також комплексного підходу до обробки й інтерпретації даних геофізичних досліджень свердловин, науково обґрунтовано можливості застосування статистичних моментів вищих порядків для виділення порід-колекторів у тонкошаруватих геологічних розрізах, розроблено методику виділення порід-колекторів у піщано-глинистому розрізі за даними акустичного та імпульсного нейтрон-нейтронного каротажів, яка апробована у процесі інтерпретації даних ГДС Вижомлянського, Грушівського і Летнянського газоконденсатних родовищ. Для неогенових відкладів Більче-Волицької зони розраховано коефіцієнт середнього вертикального розчленування геологічного об'єкта тонкошаруватої будови та встановлено коефіцієнт середньої вертикальної мінливості, що дозволяє однозначно виділяти породи-колектори в піщано-глинистих товщах.

Апробація результатів дисертації. Результати досліджень, викладених у дисертації, доповідалися на міжнародних наукових і науково-технічних конференціях, а саме: міжнародній науково-практичній конференції “Нафтогазова геофізика – стан та перспективи” (Івано-Франківськ, 2009); 2-ій науково-практичній конференції студентів і молодих учених “Методи та засоби неруйнівного контролю промислового обладнання” (м.Івано-Франківськ, 2009); XV Міжнародному симпозиумі імені академіка М.А.Усова студентів і молодих учених “Проблеми геології і освоєння недр”, (Росія, м.Томськ, 2011); другій міжнародній науково-практичній конференції “Нафтогазова геофізика – інноваційні технології”, (м.Івано-Франківськ, 2011); XVI Міжнародному симпозиумі імені академіка М.А.Усова студентів і молодих учених “Проблеми геології і освоєння недр”, (Росія, м.Томськ, 2012); X міжнародній конференції “Крим - 2012”

(Крим, 2012); міжнародній науково-практичній конференції молодих учених та студентів “Техніка і прогресивні технології у нафтогазовій інженерії - 2012”, (м.Івано-Франківськ, 2012).

Публікації. За темою дисертації автором опубліковано 11 праць, з них: наукових статей у фахових виданнях – 3, наукових статей в іноземному фаховому виданні – 1, тез доповідей – 7 (тез доповідей без співавторів – 2).

Обсяг та структура роботи. Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел. Повний обсяг дисертації складає 149 сторінок друкованого тексту, ілюстрованого 29 рисунками та 2 таблицями; до списку використаних джерел входить 112 найменувань.

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

Автор висловлює щиро подяку за корисні поради кандидату геолого-мінералогічних наук, професору В.П. Степанюку, кандидату геолого-мінералогічних наук, доценту Р.П. Моршану, кандидату геолого-мінералогічних наук, доценту М.В. Ляху.

Основний зміст роботи

Аналіз розвитку методик виділення порід-колекторів та оцінки характеру насичення за даними ГДС

Збільшення видобутку нафти і газу можна досягнути як внаслідок відкриття нових покладів вуглеводнів, так і шляхом підвищення ефективності обробки та інтерпретації даних геофізичних досліджень у процесі виділення порід-колекторів у складнобудованих геологічних розрізах. В області застосування інтерпретаційних геофізичних систем для обробки результатів свердловинних досліджень виникають проблеми при виділенні порід-колекторів та встановленні характеру їх насичення, а також визначенні колекторських властивостей у тих геологічних розрізах, де має місце тонкошаруватість відкладів і поліміктовість матриці колектора. Це одна із найважливіших задач оперативної, і не тільки, інтерпретації геофізичних матеріалів, що в значній мірі визначає ефективність роботи всієї промислово-геофізичної служби. Проблемам розвитку інтерпретаційних систем промислової геофізики присвячені наукові роботи багатьох вчених та провідних геофізиків країни.

Основними методами ГДС, які застосовуються, щоб розв'язати завдання з оцінки характеру насичення порід-колекторів, є електричні методи. Ф.А. Алексєєв, Р.П. Готтих, Н.Л. Тихомирова, В.Н. Дахнов,

Л.П. Доліна, М.Г. Латишова досить перспективними вважають почасові дослідження обсаджених свердловин нейтронними і низькочастотними акустичними методами з метою виділення продуктивних порід-колекторів на основі вивчення процесу розформування зони проникнення в колекторах. Такі дослідження у промислових масштабах проводяться тільки для виділення газоносних об'єктів за діаграмами почасових вимірів нейтронним гамма-методом.

Можливість виділення положення водоносних і нафтоносних пластів у розрізі свердловини нейтронним гамма-методом була виявлена і підтверджена в лабораторних і промислових умовах ще в 1953-1959 рр. Широке впровадження НГК, що відбулось після цього, для спостереження за динамікою переміщення водонафтового контакту в ряді родовищ, дало поштовх для подальшого розвитку радіоактивних методів у цьому напрямку. Дещо пізніше було запропоновано Б.Б. Лапуковим, Г.Н. Флеровим, Л.С. Полаком, Д.Ф. Безпаловим використовувати з цієї ж метою нейтронний каротаж за тепловими нейтронами.

Для визначення положення водоносних і нафтоносних пластів у розрізі свердловини ряд вчених застосовують, головним чином, методи нейтронного каротажу – НГК, ННК-Т, ІННК, ІНГК. Через малу глибинність нейтронних досліджень отримати хороші результати вдається тільки в породах, що не розкриті перфорацією. В інших випадках інформація є спотворена у зв'язку з впливом на неї рідини в колоні і пласті. Застосування НК для розділення водоносних і нафтоносних пластів базується на різному вмісті в них хлору. Тому дослідження нейтронними методами ефективні тільки в районах з високою мінералізацією промивної рідини – (100-250) г/л. При низькій мінералізації промивної рідини інтерпретація результатів нейтронних методів стає ненадійною, особливо в розрізах, заповнених породами, що є неоднорідними по пористості і літології та представлені тонкошаруватою будовою.

Д.Д. Глагола вивчав можливість виділення ефективних товщин коректорів і оцінки їх нафтогазонасності у тонкошаруватому розрізі неогену в процесі удосконалення методики інтерпретації радіоактивних та інших методів ГДС. І.Б. Вишняков, А.М. Палій, Г.П. Федорович, В.М. Утробін і В.І. Юшкевич у 70-х роках робили спробу виявити закономірності розподілу піщаних колекторів у піщано-глинистій товщі неогену Прикарпаття. Ю.З. Крупським у 2001 році встановлено, що в інтервалах глинистих порід майже завжди можуть бути прошарки піщаних порід, у яких слід очікувати поклади газу. Згідно з дослідженнями О.О. Орлова, В.Г. Омельченка, О.М. Трубенка виділення газоносних інтервалів у розрізах свердловин піщано-глинистої товщі неогену часто ускладнюється несприятливими

фізичними параметрами пластів, що виповнюють даний розріз, а тому на каротажних діаграмах вони відображаються нетипово тому виділити продуктивні породи-колектори у такому розрізі за даними ГДС надзвичайно складно.

Для вирішення проблеми виділення продуктивних порід-колекторів у тонкошаруватій піщано-глинистій товщі Зовнішньої зони Передкарпатського прогину слід використовувати нові підходи, які ґрунтувалися б не тільки на загальноприйнятій методиці інтерпретації даних ГДС, але й включали нову методологію, що здобувачем розглядається у дисертаційній роботі.

Вивчення неоднорідності пластів-колекторів та визначення коефіцієнта розчленування тонкошаруватого геологічного об'єкта на прикладі неогенових відкладів Летнянського газоконденсатного родовища

Важливою особливістю геологічної будови продуктивних пластів, що суттєво впливає на повноту та інтенсивність видобутку запасів газу, є літолого-фаціальна мінливість. Для вивчення мінливості (неоднорідності) піщано-глинистих тонкошаруватих неогенових відкладів застосовують як традиційні методи (побудова літолого-фаціальних карт та профілів, карт потужності, проникності, пористості та т. ін.), так і нові геолого-статистичні методи (оцінка неоднорідності за коефіцієнтами розчленування, витриманості, піщаності, шаруватості та т. ін.).

Для кількісної оцінки вертикальної неоднорідності геологічного розрізу використовують статистичні параметри та характеристики (середнє значення пошукового параметра, коефіцієнт варіації, який характеризує ступінь мінливості пошукового параметра).

Кількісна оцінка однорідності порід, що виповнюють геологічний розріз, може бути охарактеризована такими параметрами, як: коефіцієнтом варіації пошукових параметрів; середнім значенням та коефіцієнтом варіації коефіцієнта пористості, визначеного за результатами ГДС; величиною відносної та об'ємної глинистості, їх коефіцієнтом варіації.

Вищеперераховані параметри та характеристики визначають розподіл пошукового параметра, але не враховують характер розчленування геологічного об'єкта. Е.А. Нейман запропонував показники, які ліквідують цей недолік при їх врахуванні. До таких показників належить:

1. Коефіцієнт середнього вертикального розчленування геологічного об'єкта (P), що характеризує середню частоту чергування по глибині піщано-глинистих прошарків та окремих пластів з різними фізичними, літологічними, петрофізичними властивостями, розраховується за формулою:

$$P = \frac{n_{\text{екс}}}{H} \quad (1)$$

2. Коефіцієнт середньої вертикальної мінливості (I), що характеризує зміну сум модулів відносних змін пошукового параметра, які припадають на одиницю товщин. Розмірність коефіцієнта I – (м^{-1}).

3. Середня товщина геологічних об'єктів, які розрізняються за фізичними властивостями

Перевага цих параметрів над вищеперерахованими полягає у обґрунтованій оцінці неоднорідності породи-колектора.

Однак вивчення неоднорідності пластів слід проводити комплексом методів ГДС за результатами якого можна робити висновки про частоту чергування за глибиною прошарків окремих літотипів, відслідковувати зміну фізичних та петрофізичних параметрів у пластах по горизонталі. Петрофізичне вивчення пластів-колекторів дає можливість оцінити їх фільтраційно-ємнісну характеристику, вийти на конкретні дебіти, зв'язати дебіти порід-колекторів з неоднорідністю порід та середньозв'язаною товщиною. У зв'язку з цим, нами була проведена оцінка вертикального розчленування неогенових відкладів Більче-Волицької зони Передкарпатського прогину на прикладі досліджень піщано-глинистих тонкошаруватих товщ Летнянського газового родовища.

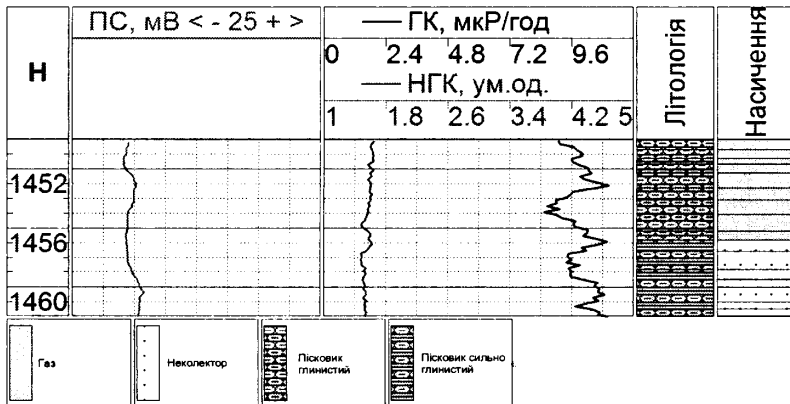


Рис.1 – Визначення коефіцієнта розчленування у св.№13 $P=1,27$

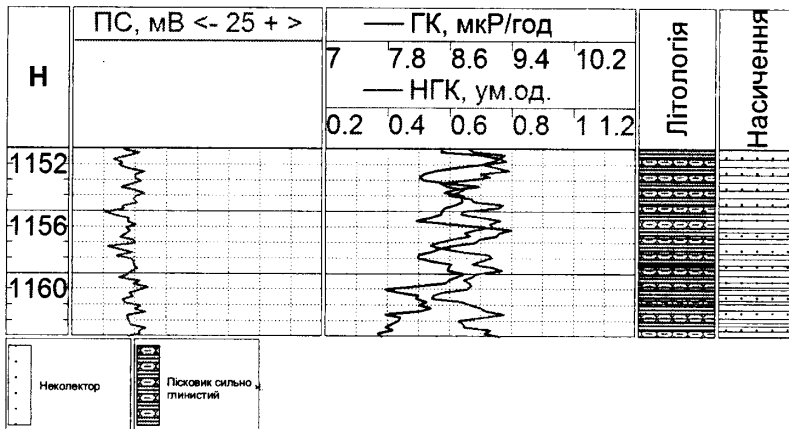


Рис.2 – Визначення коефіцієнта розчленування у св.№16 $P=2,1$

Для вирішення цієї задачі було розглянуто 59 свердловин Летнянського газоконденсатного родовища. Як приклад, у свердловині №13 (рис.1) вказаного родовища глибина досліджуваного розрізу становила 301 м. Вздовж даного інтервалу було виявлено 382 екстремальні точки на кривих методів ПС, ГК та НГК. Подальший розрахунок показав, що коефіцієнт середнього вертикального розчленування для зазначеного розрізу становить $P = 382/301=1,27$. Це означає, що в середньому один пласт має товщину 80 см. Геофізичні криві для цього геологічного розрізу не є сильно диференційованими і, проінтерпретувавши їх, можна чітко виділити продуктивні горизонти. Також, проаналізувавши отримані дані, ми можемо зробити висновок, що даний розріз за своєю літолого-стратиграфічною будовою не є тонкошаруватим, а представлений глинами та пісковиками, які можна чітко виділити за даними ГДС. Однак, свердловин із таким коефіцієнтом вертикального розчленування на Летнянському газоконденсатному родовищі небагато. Ще одним прикладом може бути свердловина №16 (рис.2) досліджуваного родовища. Аналізувалися результати ПС, ГК та НГК у розрізі глибиною 276 м. Тут було зафіксовано 581 екстремальні точки, а отже, і коефіцієнт середнього вертикального розчленування становить $P = 581/276=2,1$. Геофізичні криві дуже диференційовані, тому за отриманими результатами видно, що вказаний розріз виповнюють породи із тонкошаруватим перешаруванням алевролітів та глин. Виділити продуктивні горизонти в такому розрізі надзвичайно складно. Аналіз опрацьованих геолого-геофізичних даних із 59 свердловин Летнянського газоконденсатного родовища дозволив отримати наступний коефіцієнт вертикального розчленування:

$$P_{\text{род}} = \frac{\sum P}{N_{\text{св}}} = \frac{97,67}{59} = 1,67 \quad (2)$$

де $P_{\text{род}}$ – коефіцієнт вертикального розчленування родовища; $\sum P$ – сума коефіцієнтів вертикального розчленування родовища; $N_{\text{св}}$ – кількість свердловин, що аналізувалося на зазначеному родовищі.

Отримані результати проведеної оцінки дозволили встановити, що граничний коефіцієнт середнього вертикального розчленування тонкошаруватих товщ геологічних розрізів для Летнянського газоконденсатного родовища в середньому дорівнює 1,67. Цей параметр характеризує вибране газоконденсатне родовище як родовище із складним геологічним розрізом, оскільки ефективні товщини пластів змінюються від 0,1 до 1,0 м, що ускладнює виділення продуктивних горизонтів за результатами типового комплексу методів геофізичних досліджень свердловин.

Оцінка характеру насичення порід-колекторів за даними ГДС та методика застосування статистичних моментів вищих порядків (асиметрії та ексцесу) для виділення продуктивних горизонтів

Однією з найбільш важливих задач, яку необхідно розв'язати за результатами ГДС є виділення порід-колекторів та оцінка характеру їх насичення. У складнобудованих геологічних піщано-глинистих розрізах неогенових відкладів, в яких є продуктивні породи-колектори, однозначно вирішити вищенаведену задачу не завжди вдається.

Для виділення колекторів та оцінки характеру їх насичення застосовується широкий комплекс ГДС. Зазвичай така задача достатньо просто вирішується при вивченні чистих неглинистих порід-колекторів, представлених пісковиками. У цьому випадку для оцінки коефіцієнта нафтонасичення колекторів обмежуються результатами електрометрії свердловини, а при наявності і газоносних пластів використовують дані акустичного та радіоактивного каротажів. Продуктивні пласти виділяються за геофізичними параметрами ρ_n чи R_n шляхом порівняння їх значень з деякими критичними величинами, які встановлені для відповідного типу колектора чи для вказаного родовища.

Встановлене за даними електрометрії значення параметра насичення дозволяє отримати тільки прогнозну оцінку характеру насичення порід-колекторів, на основі якої рекомендують їх для випробувань. Більш достовірну оцінку характеру насичення колекторів отримують за

результатами опробування пластів приладами на кабелі або за допомогою випробовувачів на трубах, а також при освоєнні свердловини.

Враховуючи те, що неогенові відклади в більшості випадків представлені піщано-глинистими товщами і виповнені породами складної будови, нами запропоновано новий підхід до інтерпретації геофізичної інформації, а саме акустичного каротажу, для виділення продуктивних товщ в таких відкладах, та визначання характеру їх насичення.

Як ми знаємо, інтерпретація матеріалів геофізичних досліджень свердловин (ГДС) у тонкошаруватих теригенних розрізах, коли товщини пластів менше 0,6 м, завжди є неоднозначною, тому вказана проблема постає досить гостро. Одним із методів, що міг би значно спростити це завдання, є використання експрес-інтерпретації даних ГДС із застосуванням статистичних центральних моментів вищих порядків (асиметрія, ексцес), які розраховуються за результатами геофізичних досліджень. Аналіз геофізичних заключень з використанням існуючих технологій показав, що в тонкошаруватих розрізах діагностика характеру насичення порід-колекторів має похибки. Технологія «Геопошук» взагалі не допускає визначення фізичних та петрофізичних параметрів пластів товщиною менше 0,6 м.

На Летнянському родовищі до тонкошаруватого типу розрізу належать нижньодашавські горизонти сармату, які представляють собою пачки тонких прошарків пісковиків, алевролітів та глин, причому співвідношення їх потужностей коливається в широких межах. У залежності від того, які з них домінують в цьому інтервалі розрізу, отримують узагальнену характеристику: якщо товщини пісковикових прошарків більші, ніж глинистих (високопісковиковий підтип), геофізична характеристика цього підтипу порід достатньо чітка, а криві досить диференційовані; якщо домінують глинисті прошарки (низькопісковиковий підтип), то геофізична характеристика такого інтервалу набуває рис глинистого розрізу, хоч насправді, як показують дослідження керну, в зразках порід вміщується велика кількість дуже тонких (1-2 і менше сантиметрів) пісковикових прошарків. У загальному це створює складну систему неоднорідного колектора з широким розвитком макро- і мікроанізотропії, вивчення якої промислово-геофізичними методами представляє собою складну задачу навіть при сприятливих умовах проведення ГДС.

Як робоча гіпотеза про ознаки колектора нами приймалася динаміка змін петрофізичних параметрів порід від характеру флюїдонасичення та колекторських властивостей: величина інтервального часу Δt в пісковиках (алевролітах) для водонасиченого розрізу або у щільних породах-колекторах менша, ніж у глинах. За наявності газонасичених колекторів Δt збільшується і наближається за значеннями інтервального часу до глин. У такому випадку

для інтервалів розрізу, які містять газонасичені породи-колектори, значення ексцесу зменшується, а при співвідношенні глин до пісковиків рівному 1:1 набирає від'ємних значень. При домінуванні в геологічному розрізі пісковиків (алевролітів) значення ексцесу зменшується, однак при цьому відмічається локальний мінімум. Величину мінімуму можна розрахувати теоретично для ідеалізованих моделей середовищ або визначити емпірично. Значення асиметрії дозволяє наближено оцінити співвідношення сумарних товщин глин і пісковиків в інтервалі розрахунків середнього коефіцієнта піщанистості - K_m і при $A < 0$ коефіцієнт піщанистості рівний $K_m < 0,5$, а при $A > 0$ він набуває значення $K_m > 0,5$, тобто при додатній асиметрії сумарна товщина прошарків пісковиків більша за сумарну товщину глин.

Як видно із результатів аналізу даних геофізичних досліджень неогенових відкладів горизонтів НД-10 ÷ НД-15 Летнянського родовища, використання математичної статистики, а саме асиметрії та ексцесу, може значно полегшити проведення їх експрес-інтерпретації та сприяти більш чіткому виділенню порід-колекторів. Також, використовуючи базові діаграми розподілу інтервального часу Δt , ми проаналізували характер насичення продуктивних порід-колекторів у запропонованих горизонтах та змогли розділити породи-колектори, які насичені водою чи газом. Порівняння та аналіз отриманих за допомогою статистики результатів із результатами геофізичних даних показує майже повне їх співпадіння, що підтверджує інформативність та достовірність використання моментів вищого порядку в процесі інтерпретації даних свердловинних геофізичних досліджень тонкошаруватих геологічних розрізів.

Геологічні розрізи Летнянського газового родовища зазвичай складаються з тонкошаруватих глинистих пачок, у яких містяться прошарки пісковиків-колекторів (НД-9,14,15), щільних пісковиків і алевролітів (НД-13) або аргілітів з поодинокими прошарками алевролітів та пісковиків. Товщини окремих літотипів змінюються від 0,1 до 0,5 м (рідше 0,8 м). Глинистість розрізу дуже висока: у пісковиках-колекторах вона сягає від 20 % до 45 %; чисті аргіліти практично відсутні, у глинистих породах міститься до 40 % алевроліто-піщаних зерен. Пісковики переважно дрібнозернисті з пористістю 9-12 % та незначним значенням коефіцієнта проникності (до $0,5 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$) внаслідок їх заглинизованості.

За таких умов достатньо складно проводити якісний аналіз геолого-геофізичних даних та давати прогноз про ймовірність залягання продуктивних порід у тонкошаровому геологічному розрізі. Використовуючи асиметрію та ексцес як базові параметри при інтерпретації результатів ГДС, ми проаналізували геологічну будову горизонту НД-14 Летнянського

газоконденсатного родовища у свердловинах № 10, 3, 11, 16 та побудували кореляційну схему вказаного горизонту. Зіставивши і порівнявши результати математичної статистики з геолого-геофізичними дослідженнями, особливо у тонкошаруватих розрізах, що виповнюють досліджувані свердловини, можна достовірно рекомендувати певні інтервали для подальшої розробки, що значно підвищить ефективність використання геофізичних методів при дослідженні тонкошаруватих неогенових відкладів, а також підтвердить дієвість статистичного аналізу геофізичних даних при інтерпретації ГДС для складних літолого-стратиграфічних комплексів. Для прикладу наведемо один із проаналізованих розрізів.

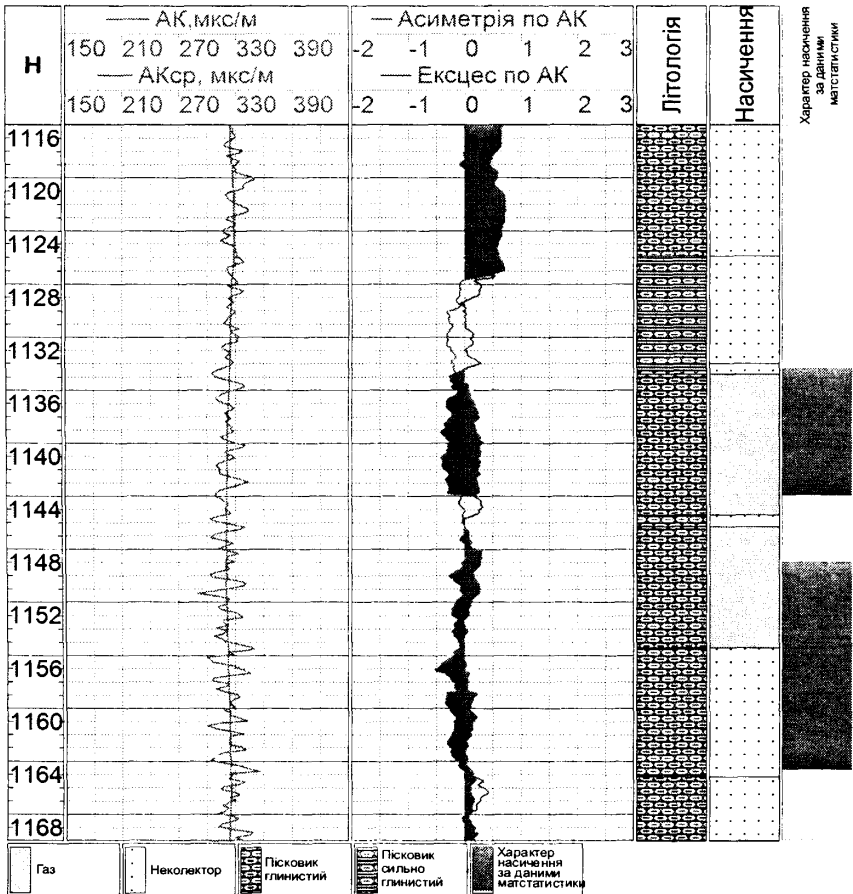


Рис.3 – Виділення порід-колекторів у горизонті НД-11 свердловини №5 Летнянського газоконденсатного родовища

На рис.3 виділено породи-колектори у горизонті НД-11 свердловини №5 Летнянського газоконденсатного родовища. Аналіз кривих геофізичних даних, що отримані у вказаному інтервалі розрізу, не дає чіткої уяви про будову самого розрізу та характер насичення порід-колекторів.

Це пояснюється складною будовою розрізу та тим, що породи-колектори представлені тонкошаруватим літолого-стратиграфічним комплексом, фізичні параметри якого не є однозначними. Використовуючи статистичний аналіз (асиметрію та ексцес) даних акустичного каротажу та запропоновану методику інтерпретації отриманих таким чином даних, ми виділили продуктивні колектори у досліджуваному розрізі. А використовуючи базові діаграми розподілу Δt , ми визначили насичення порід-колекторів даних інтервалів і підтвердили їх газонасиченість. Виділені продуктивні піщанисті товщі в складних геологічних розрізах з використанням математичної статистики підтвержені і співпадають із прогнозованими за даними ГДС. Також, ми виділили перспективні продуктивні породи-колектори у вказаному інтервалі, що не були знайдені за результатами ГДС. Таким чином, використання статистичних моментів вищих порядків у процесі інтерпретації даних акустичного каротажу підвищує інформативність свердловинних геофізичних досліджень та полегшує виділення газонасичених пластів у складних тонкошаруватих літолого-стратиграфічних комплексах Більче-Волицької зони Передкарпатського прогину.

Виділення продуктивних горизонтів у тонкошаруватому розрізі за даними ІННК на прикладі Летнянського газоконденсатного родовища

Результати ІННК зазвичай використовується для визначення коефіцієнта газонасичення порід-колекторів, однак при застосуванні статистичних моментів третього та четвертого порядків їх можна використати для виділення продуктивних товщ.

Асиметрія А (центральне і нормоване відхилення третього порядку) та ексцес Е (центральне і нормоване відхилення четвертого порядку) за результатами імпульсного нейтрон-нейтронного каротажу (ІННК), які осереднені на великих базах (15 м) по відношенню до товщини пластів, можуть бути інформативними для оцінки характеру флюїдонасиченості та піскуватості тонкошаруватих відкладів. На прикладі статистичної обробки результатів ІННК теригенних відкладів Летнянського родовища показано, що величина асиметрії та ексцесу, які розраховані для тонкошаруватих порід-колекторів за знаками (плюс чи мінус), корелюються з наявністю (відсутністю) газонасичених пластів в інтервалі аналізу та середньо

зваженою піщанистістю розрізу. Аналізувались інтервали з водонасиченими, ущільненими та газонасиченими колекторами, які виділені за комплексом ГДС та підтверджені результатами випробувань. Висновки, що зроблені за результатами статистичної обробки даних ІННК практично повністю співпадають із результатами даних інтерпретації ГДС. Таким чином, отримані результати свідчать, що статистичні моменти вищих порядків фіксують загальну геологічну неоднорідність порід в області нафтогазового покладу і можуть бути використані для експрес-прогнозування розрізу на наявність газонасичених колекторів.

Отже, результати досліджень вказують на доцільність застосування вказаної методики для виявлення газоносних порід-колекторів у тонкошаруватих пачках теригенних розрізів, що є надзвичайно складною задачею.

ВИСНОВКИ

У результаті теоретичних та експериментальних досліджень складнопобудованих неогенових піщано-глинистих товщ та ефективності їх геофізичних досліджень розроблено новий підхід до інтерпретації результатів електричних, акустичних та нейтронних вимірювань з використанням елементів математичної статистики вищого порядку.

Запропоновано нові способи розчленування тонкошаруватих піщано-глинистих порід, які враховують не тільки складну структуру їх будови, а і ступінь розчленованості розрізу, що є більш ефективними у порівнянні з широкочисливаними інтерпретаційними геофізичними підходами.

Теоретичне обґрунтування нового методологічного підходу до розчленування неогенового піщано-глинистого розрізу у Більче-Волицькій зоні Передкарпатського прогину за результатами акустичного та імпульсного нейтрон-нейтронного каротажів, дає можливість враховувати вплив вертикальної неоднорідності літолого-стратиграфічних комплексів на покази методів ГДС, що підвищує ефективність геофізичних досліджень у свердловинах.

Розрахунок коефіцієнта вертикальної неоднорідності розрізу на основі геофізичних даних дає змогу визначити правомірність застосування статистичних моментів вищих порядків для більш детального розчленування тонкошаруватого піщано-глинистого розрізу в межах газових родовищ Більче-Волицької зони Передкарпатського прогину.

Найважливіші науки та практичні результати дисертаційної роботи.

1. Вперше запропоновано використання статистичних моментів третього та четвертого порядків, що розраховуються за даними

свердловинних геофізичних досліджень для виділення продуктивних газонасичених пластів у тонкошаруватому піщано-глинистому, неогеновому розрізі.

2. Створено методику виділення газонасичених порід-колекторів за даними акустичного каротажу у складнопобудованому, тонкошаруватому, неогеновому розрізі газоконденсатних родовищ Більче-Волицької зони.

3. Теоретично обґрунтовано зв'язок асиметрії та ексцесу, що розраховуються за свердловинними геофізичними даними, із вертикальною неоднорідністю складнопобудованих тонкошаруватих піщано-глинистих порід, що виповнюють геологічний розріз неогену.

4. Вперше створено модель виділення продуктивних горизонтів у неогеновому складнопобудованому, тонкошаруватому розрізі за результатами дослідження свердловин імпульсними нейтрон-нейтронними методами.

5. Розраховано коефіцієнт вертикальної неоднорідності неогенових відкладів сарматського ярусу Летнянського газоконденсатного родовища за результатами обробки геофізичних кривих та обґрунтовано тонкошарувату геологічну будову досліджуваного родовища.

6. Обґрунтовано можливість використання асиметрії та ексцесу, для виділення порід-колекторів, що залягають у неогенових відкладах Летнянського газоконденсатного родовища та доведена ефективність використання даної методики для інтерпретації результатів свердловинних досліджень складнопобудованих тонкошаруватих піщано-глинистих порід.

Отримані у дисертації наукові і практичні результати є основою комплексного підходу до вирішення проблеми, пов'язаної із виділенням порід-колекторів у тонкошаруватих геологічних розрізах та визначенням їх коефіцієнта газонасичення. Вони є науково обґрунтованими та базуються на великій кількості опрацьованого фактичного матеріалу і апробовані у процесі обробки та інтерпретації результатів ГДС Вижомлянського, Грушівського та Летнянського газоконденсатних родовищ.

Практичне впровадження отриманих результатів дасть змогу підвищити достовірність комплексних геолого-геофізичних досліджень як під час пошуку вуглеводнів, так і при визначенні підрахункових параметрів складнопобудованих порід-колекторів, що є вагомим внеском у стабілізацію та збільшення видобутку вуглеводневої сировини в Україні.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Пятковська І.О. Застосування статистичних центральних моментів для експрес-інтерпретації даних ГДС у тонкошаруватих сарматських

відкладах Більче-Волицької зони/ Д.Д. Федоришин, Р.П. Морошан, І.О. Пятковська // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2011. – №4(41). – С. 36-40. *(Особистий внесок – аналіз результатів досліджень, обробка отриманих даних, узагальнення основних результатів. Участь автора – 45 %).*

2. Пятковська І.О. Розпізнавання образів фізичних полів літолого-стратиграфічних комплексів за результатами геофізичних досліджень та методів математичної статистики / Д.Д. Федоришин, М.В.Саварин, І.О. Пятковська // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2012. – №4(44). – С. 42-48. *(Особистий внесок – аналіз попередніх досліджень, обробка отриманих даних, узагальнення основних результатів. Участь автора – 55 %).*

3. Пятковська І.О. Комплексна інтерпретація результатів імпульсного нейтрон-нейтронного каротажу та параметрів математичної статистики для підвищення видобутку газу із порід-колекторів тонкошаруватих неогенових відкладів/ Д.Д. Федоришин, І.О. Пятковська // Нафтогазова енергетика. – 2012. – №4(23). – С. 20-28. *(Особистий внесок – формування завдання, проведення досліджень, аналіз отриманих результатів, формування висновків. Участь автора – 70 %).*

4. Piatkovska I.O. Method of rapid data interpretation geophysical borehole logging involving large-scale effects of higher order in thinlayers sarmatian deposits of the carpathion foredeep/ D.D. Fedoryshyn, R.P. Moroshan, I.O. Piatkovska // Scientific bulletin of north university of Baia Mare.- Baia Mare. – 2012. – Vol.XXVI No.2. – P. 85-91. *(Особистий внесок – аналіз результатів досліджень, обробка отриманих даних, узагальнення основних результатів. Участь автора – 65 %).*

5. Пятковська І.О. Застосування геофізичних ядерно-магнітних досліджень при розробці нафтогазових родовищ / Д.Д. Федоришин, І.О. Пятковська // Міжнародна науково-практична конференція “Нафтогазова геофізика – стан та перспективи”. – Івано-Франківськ, 2009. – С. 260-263 *(Особистий внесок – проведення досліджень, обробка отриманих результатів, узагальнення основних результатів. Участь автора – 45 %).*

6. Пятковська І.О. Контроль за динамікою зміни ГНК та ВНК на нафтогазових родовищах за даними ГДС / С.Д. Федоришин, Я.М. Коваль, І.О. Пятковська, С.А. Вижва // Методи та засоби неруйнівного контролю промислового обладнання: тези доп. II Науково-практичної конференції студентів і молодих учених. – Івано-Франківськ, 2009. – С. 127-128. *(Особистий внесок – аналіз результатів досліджень, формування висновків. Участь автора – 45 %).*

7. Пятковська І.О. Применения геофизических ядерно-магнитных

исследований при разработке нефтегазовых месторождений./ І.О. Пятковська // Проблеми геології и освоєння недр: Труды XV Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых. – Томск: ТПУ, 2011. – Том I. – С. 340-342.

8. Пятковська І.О. Застосування статистичних центральних моментів для експрес-інтерпретації даних ГДС у тонкошаруватих сарматських відкладах Більче-Волицької зони/ Д.Д. Федоришин, Р.П.Моршан, І.О. Пятковська // 2-а міжнародна науково-практична конференція “Нафтогазова геофізика – інноваційні технології”. – Івано-Франківськ, 2011. – С. 30-32 (*Особистий внесок – проведення досліджень, обробка отриманих результатів, узагальнення основних результатів. Участь автора – 45 %*).

9. Пятковська І.О. Применення масштабних ефектів 3-4 рода для експрес-інтерпретації даних ГИС на прикладі тонкослойних Сарматських відкладень Більче-Волицької зони./ І.О. Пятковська // Проблеми геології и освоєння недр: Труды XVI Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых. – Томск: ТПУ, 2012. – Том I. – С. 336-338.

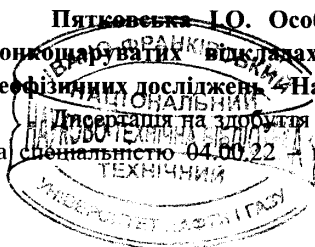
10. Пятковська І.О. Методика застосування статистичних центральних моментів для експрес-інтерпретації даних / Д.Д. Федоришин, Р.П.Моршан, І.О. Пятковська // Геодинаміка, тектоніка і флюїдодинаміка нафтогазоносних регіонів України: тези докл. X Міжнародної конференції “Крим-2012”. – Сімферополь, 2012. – С. 35-38. (*Особистий внесок – формування завдання, проведення досліджень, узагальнення основних результатів. Участь автора – 70 %*).

11. Пятковська І.О. Розпізнавання образів фізичних полів літолого-стратиграфічних комплексів за допомогою методів математичної статистики на прикладі Вишнянського газового родовища / Д.Д. Федоришин, І.О. Пятковська, М.І. Садівник // міжнародна науково-практична конференція молодих учених та студентів “Техніка і прогресивні технології у нафтогазовій інженерії – 2012”. – Івано-Франківськ, 2012. – С. 265-268 (*Особистий внесок – проведення досліджень, обробка отриманих результатів, узагальнення основних результатів. Участь автора – 45 %*).

АНОТАЦІЯ

Пятковська І.О. Особливості виділення газонасичених товщ у тонкошаруватих відкладах Передкарпатського прогину за даними геофізичних досліджень. На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата геологічних наук за спеціальністю 04.00.22 – геофізика. – Івано-Франківський національний



технічний університет нафти і газу Міністерства освіти і науки України, Івано-Франківськ, 2013.

У дисертаційній роботі вирішуються актуальні питання підвищення достовірності виділення порід-колекторів та визначення їх характеру насичення у тонкошаруватих, піщано-глинистих, літолого-стратиграфічних комплексах газоконденсатних родовищ, північно-західної частини Більче-Волицької зони Передкарпатського прогину.

На підставі результатів досліджень, проведених у дисертаційній роботі, встановлено чинники, які впливають на достовірність виділення продуктивних порід-колекторів та фізичну характеристику полів, що їх відображають. Саме ці чинники в подальшому призводять до похибок у визначенні петрофізичних параметрів порід-колекторів.

З метою підвищення достовірності виділення продуктивних порід-колекторів у складнобудованих геологічних розрізах розроблено новий методологічний підхід до інтерпретації результатів геолого-геофізичних досліджень. Запропоновано використання статистичного аналізу, а саме асиметрії та ексцесу при інтерпретації даних акустичного каротажу. Даний підхід обґрунтований на прикладі газоконденсатних родовищ північно-західної частини Більче-Волицької зони Передкарпатського прогину.

Запропоновано методика виділення продуктивних горизонтів на основі оброблення даних імпульсного нейтрон-нейтронного каротажу з використанням методів математичної статистики.

Ключові слова: тонкошаруваті пласти-колектори, асиметрія, ексцес, акустичний каротаж, імпульсний нейтрон-нейтронний каротаж, коефіцієнт вертикального розчленування, параметр насичення, інтервальний час.

АННОТАЦИЯ

Пятковская И.О. Особенности выделения газонасыщенных толщ в тонкослойных отложениях Предкарпатского прогиба по данным геофизических исследований – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата геологических наук по специальности 04.00.22 – геофизика. – Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа Министерства образования и науки Украины, Ивано-Франковск, 2013.

В диссертационной работе решаются актуальные вопросы повышения достоверности выделения пород-коллекторов и определение их характера насыщения в тонкослойных, песчано-глинистых, литолого-стратиграфических комплексах газоконденсатных месторождений, северо-западной части Бильче-Волицкой зоны Предкарпатского прогиба.

На основании результатов исследований, проведенных в диссертационной работе, установлены факторы, влияющие на достоверность выделения продуктивных пород-коллекторов и физическую характеристику полей, которые их отражают. Именно эти факторы в дальнейшем приводят к ошибкам в определении петрофизических параметров пород-коллекторов.

Учитывая сложное геологическое строение северо-западной части Предкарпатского прогиба и с целью учета влияния неоднородности литолого-стратиграфического комплекса на последующие результаты интерпретации данных геолого-геофизических исследований, в работе рассчитан коэффициент среднего вертикального расчленения геологического объекта на примере Летнянского газоконденсатного месторождения.

Современное состояние аппаратного и методического обеспечения геофизических исследований позволяет все подсчетные параметры (эффективная мощность $h_{\text{эф}}$, коэффициент пористости k_p , коэффициент нефтегазонасыщения, $k_{\text{нг}}$) определять только в пластах и прослойках мощностью $h_{\text{эф}} - 1$ м. С целью повышения достоверности выделения продуктивных пород-коллекторов в сложнопостроенных геологических разрезах разработан новый методологический подход к интерпретации результатов геолого-геофизических исследований. Предложено использование статистического анализа, а именно статистических центральных моментов высших порядков (асимметрия, эксцесс) при интерпретации данных акустического каротажа. Сравнение характера поведения кривой эксцесса с результатами промышленно-геофизических исследований показывает, что локальный минимум кривой совпадает с насыщенным интервалом разреза, а характер распределения скоростной неоднородности, что мы получаем за результатами АК, характеризует данный интервал как водо- или газонасыщенный. Данный подход обоснован на примере тонкослойных разрезов газоконденсатных месторождений северо-западной части Бильче-Волицкой зоны Предкарпатского прогиба.

Предложена методика выделения продуктивных горизонтов на основе обработки данных импульсного нейтрон-нейтронного каротажа с использованием методов математической статистики.

Ключевые слова: тонкослоистые пласты-коллекторы, асимметрия, эксцесс, акустический каротаж, импульсный нейтрон-нейтронный каротаж, коэффициент вертикального расчленения, параметр насыщения, интервальное время.

ABSTRACT

Piatkovska I.O. Features selection of gas-saturated strata in thin-bedded sediments of the Carpathian Fordeep according to well logging data – In manuscript.

Thesis for Candidate of Science degree (Geology) in specialty 04.00.22 – Geophysics. – Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Ivano-Frankivsk, 2013.

Thesis deals with solving the urgent issues of enhancing the reliability of the reservoir rocks allocation and determination of the nature of saturation in thin-bedded, sandy-clayey, lithologic and stratigraphic complexes of gas condensate fields in northwestern Bilche-Volytska zone of the Carpathian Fordeep.

Based on the results of research conducted in the thesis, established were the factors that affect the accuracy of the allocation of productive reservoir rocks and the physical description of the fields that they represent. These factors subsequently lead to errors in determination of petrophysical parameters of reservoir rocks.

In order to improve the reliability of the allocation of productive reservoir rocks in complex-built geological cross sections, a new methodological approach to the interpretation of the results of geological and geophysical studies was suggested. The use of statistical analysis, such as asymmetry and kurtosis in acoustic logging data interpretation was proposed. This approach is justified by the example of gas condensate fields in the northwestern Bilche-Volytska zone of the Carpathian Fordeep.

The method of allocation of productive horizons is based on the data of processing pulsed neutron-neutron logging using the methods of mathematical statistics.

Keywords: thin-bedded reservoirs, skewness, kurtosis, acoustic logging, pulsed neutron-neutron logging, vertical partition coefficient, saturation parameter, interval time.