

ОЦІНКА ЛІТОФАЦІАЛЬНОЇ НЕОДНОРІДНОСТІ ПРОДУКТИВНИХ ВІДКЛАДІВ НАФТОГАЗОВИХ РОДОВИЩ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ГЕОФІЗИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ СВЕРДЛОВИН

I. O. Федак

ІФНТУНГ, 76019, Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 42056,
e-mail: geophys@nung.edu.ua

Пласты-коллекторы нефтегазовых месторождений усложнены литофациальными неоднородностями, которые значительно влияют на движение флюидов. Учет таких особенностей геологического строения продуктивных пластов-коллекторов дает возможность повысить информативность фильтрационных моделей месторождений. В статье предлагается оценивать литофациальные неоднородности с помощью анализа морфологии каротажных кривых гамма-метода. На основании предложенной классификации кривых гамма-картажа составлены схемы дисперсности продуктивных горизонтов, которые являются базой для построения детальной фильтрационной модели месторождения.

Геологічна будова продуктивних відкладів будь-якого нафтогазового родовища є дуже індивідуальною характеристикою. Пов'язано це з унікальністю умов накопичення осадів та їх динамікою на різних територіях [1]. Внаслідок з'являються відклади з характерними літофаціальними неоднорідностями, що визначають фільтраційно-ємнісні властивості пластів-колекторів. Згадані неоднорідності проявляються літологічним заміщенням одних порід іншими та пов'язаною з цим дисперсністю частинок мінерального скелету. Оцінка літофаціальних неоднорідностей дає можливість точніше прогнозувати процеси, які відбуваються на нафтогазових родовищах під час їх розроблення. Така інформація сприяє підвищенню достовірності побудови фільтраційних моделей, які є базовими для проектування або удосконалення системи розроблення нафтогазових родовищ.

Дисперсність, тобто характеристика осадкових порід за розміром частинок мінерального скелету, обумовлює ємнісні і фільтраційні властивості продуктивних порід та петрофізичні залежності, які використовуються під час інтерпретації геофізичних досліджень. За розподілом дрібнодисперсних частинок у гірській породі в просторових координатах можна відтворити зміну умов накопичення осадів.

Фаціальну характеристику продуктивних покладів нафтогазових родовищ може бути подано за ознаками: органічних решток; структури і текстури гірських порід; форми, гранулометрії зерен і уламків; типу і речовинного складу відкладів; геохімічних умов; наявності і типу ритмічності; характеру залягання і розповсюдження породи по площі; вапняково-доломітового складу; умов накопичення осадів та ін.

Reservoir beds of oil-gas field complicated by lithofacial heterogeneity which significantly influence fluid traveling. Taking into account such features of geological structure of producing reservoir beds enables us to increase the information abilities about the filtration models of the field. It is suggest to evaluate lithofacial heterogeneity with the help of the morphological analyses of the curves of gamma-ray logging. On the suggested basis of the classification of gamma-ray logging curves the schemes of productions dispersion have been made which is the fundamented for composing the detailed filtration model of the field.

Дослідження таких характеристик проводяться методом від окремого до загального і тому досить складно один об'єкт описати декількома параметрами одночасно, що залежить від комплексності лабораторних досліджень, об'єму відібраного керну, можливості проведення аналізів і т. ін. Пропонується складати для родовищ фаціальні схеми продуктивних відкладів, використовуючи результати геофізичних досліджень свердловин.

Комплексна геофізична інформація, записана у свердловині, відображає взаємозв'язки властивостей, які характеризують поклади. Таким чином, розробка фаціальних схем проводиться від загального до окремого. Особливістю такого підходу є те, що інформація, яка містить дані про об'єкт, записується неперервно одним вимірювальним устаткуванням (геофізичним приладом) та характеризує фізичні і геологічні властивості продуктивних порід. Тобто, є інформацією про реальний геологічний об'єкт.

Лабораторні дослідження є індивідуальною випадковою інформацією. Для прикладу, пористість порід покладу оцінюється за обмеженою кількістю взірців керну, а методика такого дослідження вимагає штучного насичення взірців. За геофізичною інформацією пористість визначають в реальних умовах з реальною насиченістю порід природним флюїдом і використовується комплекс методів, дані яких відображають об'єм порового простору.

Складання фаціальних схем за геофізичною інформацією відрізняється використанням узгодженої інформації про характеристики продуктивних відкладів, взятої з різних фізичних полів. Використання геофізичних даних, за якими можна будувати схеми, забезпечує біль-

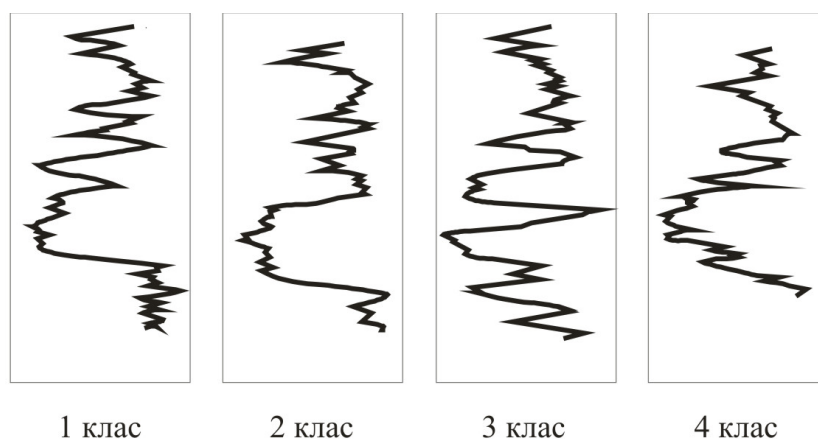


Рисунок 1 – Класифікація форм геофізичних кривих за фаціальними ознаками (V продуктивна пачка)

шу достовірність побудов, але дослідження необхідно проводити тільки в комплексі з геологічною інформацією.

Результати геофізичних досліджень, окрім ємнісно-фільтраційних властивостей і характеру насичення, відображають ритмічність процесу накопичення осадов, характер залягання відкладів, швидкість накопичення осадов та ін. Визначитися, який геофізичний параметр або комплекс параметрів необхідно використати для побудови фаціальної схеми, можна шляхом дослідження фізичних і фільтраційно-ємнісних характеристик порід продуктивного комплексу.

Згадані дослідження і побудови виконано на Семенівському нафтовому родовищі. На даному родовищі виділено п'ять продуктивних літологічних пачок. Пачки розділені товстими глинистими шарами, що повністю забезпечує їх ізоляцію між собою. Кожна продуктивна пачка складається з декількох пропластків. У відкладах чоक्रаського горизонту проникні пласти літологічно представлені вапняками органогенно-детритовими, непроникні – мергелями, вапняковими глинами. Караганські відклади в проникній частині представлені пісками і органогенними вапняками, в непроникній частині – піщанистими і вапняковими глинами та мергелями.

Причиною значної літологічної неоднорідності та частого перешарування різних літологічних груп нижнього міоцену відбувалися періодичні тектонічні рухи в даному регіоні та, відповідно, періодична зміна умов накопичення осадов. В результаті сформувався поклад у вигляді брахіантіклінальної складки. Складка різко асиметрична, ускладнена розривним порушенням, яке проходить вздовж осі складки, склепіння вузьке і досить круте.

Така кількість літологічних різновидів, частих перешарувань пластів та наявність тектонічних порушень є причиною неоднорідностей продуктивних горизонтів Семенівського нафтового родовища. Існуючі неоднорідності мають своє відображення у геофізичних полях. Аналіз фізичних основ та результатів геофізичних досліджень свердловин Семенівського нафтового родовища дав можливість запропону-

вати систему класифікації геофізичних кривих за морфологією.

Просторове дослідження морфології геофізичних кривих, які несуть інформацію про поглибовність накопичення осадов дає можливість ефективно спостерігати за змінами літологічних характеристик і умов накопичення осадов у латеральному і вертикальному напрямках. З цією метою проведено класифікацію кривих гамма-каротажу, зареєстрованих в інтервалах V продуктивної пачки Семенівського нафтового родовища.

Мінливість процесу накопичення осадов, спричиняє зміну характеристик продуктивної пачки з глибиною, що, в свою чергу, впливає на покази геофізичних методів. Чим інтенсивніше відбувалася зміна умов накопичення осадов, тим різкіше змінювались характеристики пластів. На кривих геофізичних методів досліджень свердловин такі зміни відображаються в їх формі. Тобто, ці зміни мають вплив на морфологію кривих. Для розподілу на класи геологічних розрізів продуктивної пачки використано результати досліджень методом гамма-каротажу. Цей метод володіє високою роздільною здатністю, стабільністю показів і за своїми фізичними основами дає можливість ефективно розділяти пласти за ознаками дисперсності. Цьому сприяє фізична основа природи утворення радіоактивності осадових відкладів.

До першого класу віднесено ті свердловини, у яких V продуктивна пачка представлена однорідним пластом значної товщини, що характеризується постійним значенням інтенсивності природного гамма-випромінювання вздовж усього проникного інтервалу. У верхній частині пачки проглядається вклинювання в цей пласт глинистого прошарку, який характеризується підвищеним значенням на кривій гамма-каротажу, у порівнянні зі значенням природної радіоактивності основної частини продуктивної пачки (рис. 1). Покрівля і підшва на кривій гамма-каротажу виділяються різкою зміною значень, тобто на цих ділянках існує значний градієнт величини інтенсивності природного гамма-випромінювання.

У другий клас об'єднано ті свердловини, в яких V продуктивна пачка також представлена однорідним проникним пластом значної товщини, що характеризується постійним значенням інтенсивності природного гамма-випромінювання вздовж усього проникного інтервалу. Але в середній частині пачки появляється прошарок, який характеризується пониженою значенням інтенсивності природного гамма-випромінювання, у порівнянні зі значенням основної частини продуктивної пачки. Це вказує на те, що на пізньому етапі формування пачки відбулася тимчасова зміна умов накопичення осадів, яка сприяла значному збільшенню дрібнодисперсної фракції у відкладах даного періоду.

Третій клас представляють ті свердловини, у яких V продуктивна пачка має, в порівнянні з пачками, об'єднаними у перший і другий класи, більшу товщину за рахунок появи одного або декількох глинистих пластів значної товщини. В такій пачці йде перешарування проникних і непроникних глинистих пластів, які характеризуються, відповідно низькими і високими значеннями природного гамма-випромінювання. Перехід від одного пласта до іншого відображається на кривій великим градієнтом зміни зареєстрованих значень.

Четвертий клас об'єднує свердловини, що відкрили V продуктивну пачку, яка заповнена проникними породами з підвищеним коефіцієнтом глинистості. Загальна товщина проникної частини пачки, в порівнянні з попередніми класами, менша, а зареєстрована природна радіоактивність завищена, в порівнянні з чистими проникними пластами цієї пачки. Характерною ознакою цього класу є малий градієнт зміни значень природної радіоактивності в підшві і покрівлі пачки. Крива на цих ділянках має плавну форму, що вказує на повільну зміну умов накопичення осадів протягом тривалого періоду, а отже, поступову зміну співвідношення дрібнодисперсної і крупної фракцій пластів.

В результаті проведених досліджень розроблено загальну класифікацію кривих гамма-каротажу за їх морфологією для Семенівського родовища і на її основі створено схеми розташування зон із різною динамікою накопичення дрібнодисперсної фракції (далі – схеми дисперсності) відкладів за кожною продуктивною пачкою. Приклад такої схеми, розробленої для V продуктивної пачки Семенівського нафтового родовища, наведено на рис. 2.

Схеми дисперсності є основною інформацією про неоднорідність відкладів кожної продуктивної пачки. Детальне вивчення характеру неоднорідності вимагає дослідження таких схем за окремими ознаками. Однією з таких ознак є ритмічність накопичення осадів, яку можна чітко простежити за діаграмами гамма-каротажу.

Ядерно-фізичні, фізико-хімічні явища і процеси, на яких базується метод гамма-каротажу та методика проведення досліджень інтенсивності природного гамма-випромінювання у свердловинах, дали змогу з високою точністю вирішувати задачу з літологічного розчлену-

вання геологічних розрізів, зокрема розділяти пласти гірських порід за дисперсністю зерен мінералів, з яких вони утворені.

Відкладання грубодисперсної чи дрібнодисперсної фази в певний період накопичення осадів відображається на кривій гамма-каротажу чіткими піками, які несуть в собі інформацію як про характер дисперсності речовини, так і про товщину пласта. Одним з досліджуваних параметрів, отриманих із гамма-каротажної кривої, є кількість прошарків продуктивних пачок Семенівського нафтового родовища. Цей параметр чисельно рівний кількості піків, які містяться на гамма-каротажній кривій, зареєстрованій навпроти певної продуктивної пачки. Дослідження утворених прошарків в латеральному напрямку дає можливість вивчити циклічність седиментаційного процесу і характеризувати неоднорідність колекторських властивостей.

Метою наших досліджень є встановлення неоднорідності утворення порід в умовах накопичення. Використовуємо поняття циклічності, згідно з яким циклічна седиментація є послідовним повторенням ознак у масштабі геологічного розрізу літостратиграфічної одиниці [2]. Характеризувати циклічність можна за різними чинниками. Для характеристики циклічності нами використано згаданий вище параметр і для прикладу побудовано карту його розподілу (далі – схема ритмічності) за площею п'ятої продуктивної пачки Семенівського нафтового родовища (рис. 3).

Схеми дисперсності (див. рис. 2) та ритмічності (див. рис. 3) доповнюють одна одну. Загалом V пачка характеризується значною часткою грубоуламкової фракції. Тільки невелика частина структури за схемою дисперсності зайнята зоною з підвищеним вмістом дрібнодисперсної фракції (св. № 5, 25, 26, 28, 49 і 79). На схемі ритмічності ці ділянки характеризуються низькою циклічністю седиментації, що сприяло тривалому відкладенню дрібнодисперсних частинок. Тому, можна прогнозувати погіршену проникність V продуктивної пачки в районі цих свердловин. Підтвердженням зробленого припущення є розраховані значення проникності у цих свердловинах. Середньозважені значення проникності тут коливаються в межах 200×10^{-3} мкм², в той час як середні значення добре проникних інтервалів коливаються в межах 400×10^{-3} мкм².

У центральній і північно-західній частинах виділяються зони періоду різкого переходу до стабільного грубоуламкового накопичення з наступним поступовим переходом до періоду накопичення дрібнодисперсної фракції у ритмічному режимі. Аналізуючи морфологію кривих, бачимо, що в період накопичення відбувалася ритмічна зміна грубоуламкової і дрібнодисперсної фракцій. Амплітуда коливань інтенсивності природної радіоактивності, в період ритмічної зміни, для зони майже однакова, що вказує на ідентичність уламкового матеріалу в цей період накопичення осадів.

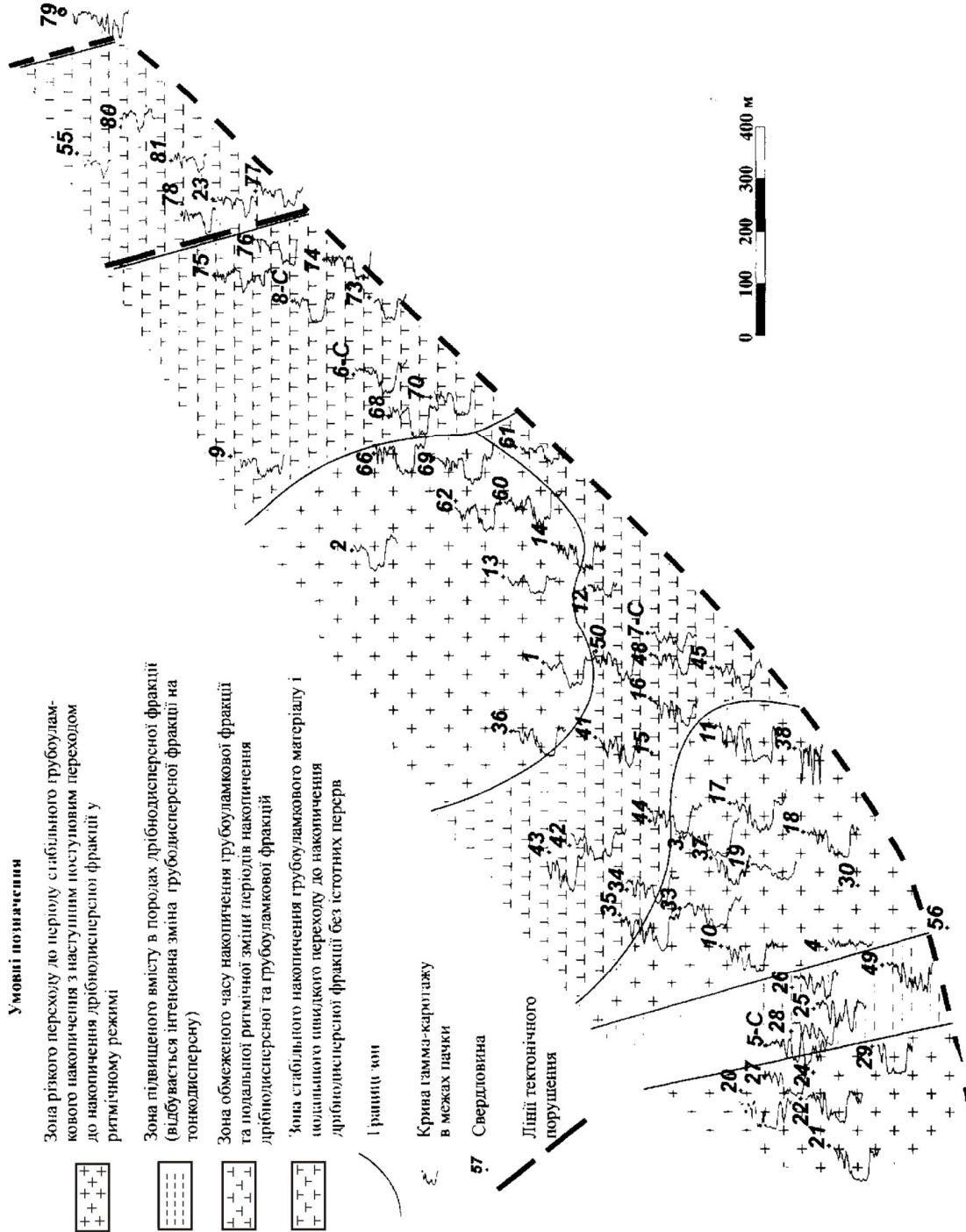


Рисунок 2 — Схема розташування зон із різною динамікою накопичення дрібнодисперсних фракцій відкладів V продуктивної пачки Се-менівського нафтового родовища

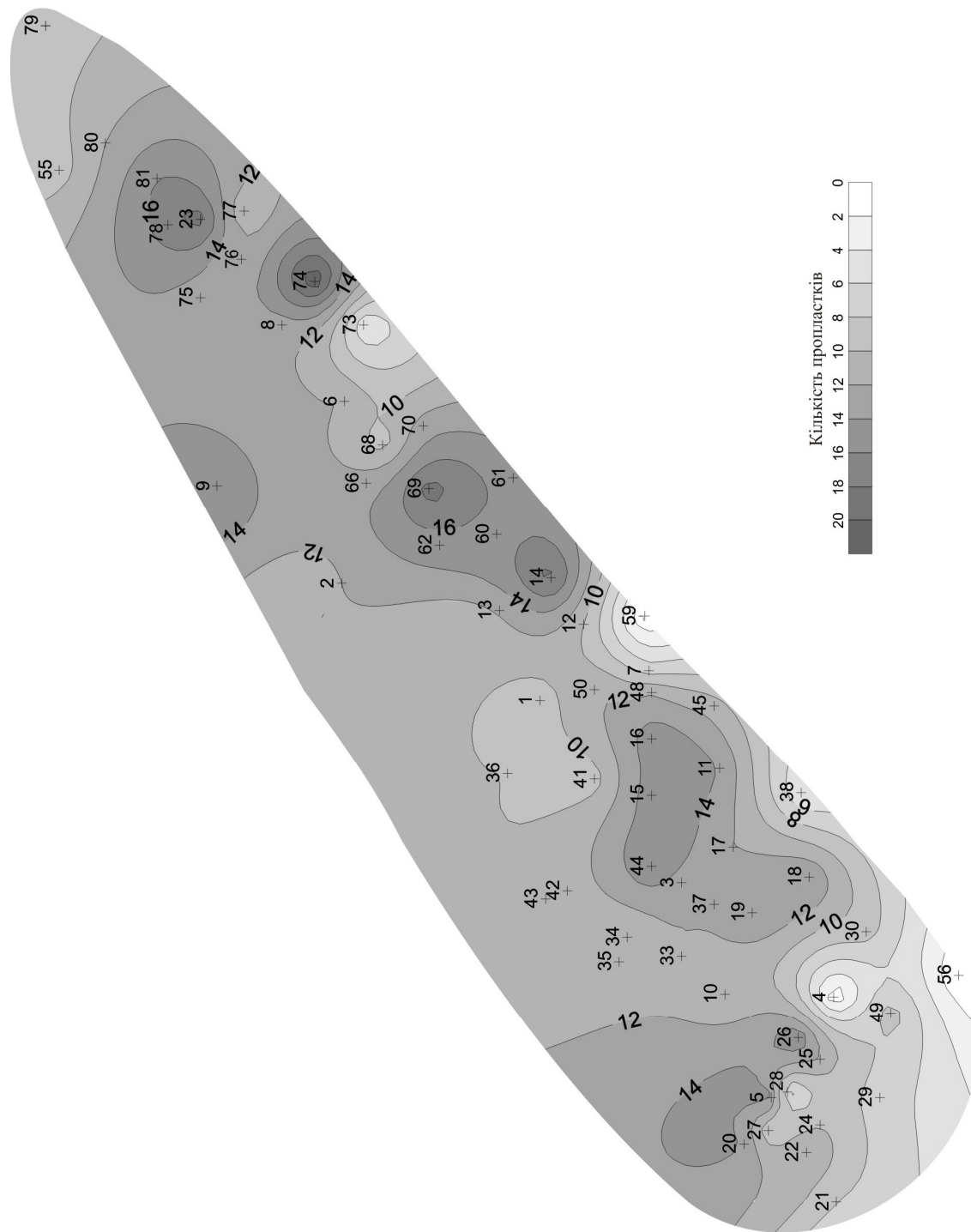


Рисунок 3 — Схема, яка демонструє частоту зміни умов накопичення осадів в період формування гірських порід п'ягої продуктивної пачки Семенівського нафтового родовища

Джерело утворення уламків було одне і те саме. Підтвердженням є характеристики цих самих ділянок на схемі ритмічності. Невелика кількість циклів зміни умов накопичення осадів також вказує на стабільність джерела зносу грубоуламкового матеріал. Проведений аналіз дав можливість спрогнозувати хорошу проникність продуктивної пачки на згаданих ділянках і розрахувати значення коефіцієнтів проникності в окремих свердловинах. Перевірка отриманих коефіцієнтів за результатами гідродинамічних досліджень підтвердила правильність розрахунків.

Від центральної частини відділяється зона, в якій період накопичення грубодисперсної фракції є значно меншим у порівнянні з попередньою зоною. Тобто, товщина нижньої частини пачки зменшилась. Перехід від дрібнодисперсної частини до грубодисперсної і навпаки протікає повільно, на що вказує невеликий градієнт кривої гамма-каротажу (св. № 41, 48, 7, 16, 55, 80). Поступовий перехід від грубоуламкового до дрібнодисперсного накопичення збільшує частину пачки з підвищеним вмістом дрібнодисперсної фракції. Схема ритмічності вказує на спокійні в тектонічному відношенні ділянки. Тому можна прогнозувати середні за проникністю пласти. Таке припущення також підтверджується результатами випробувань.

В межах свердловин № 9, 8, 74, 70 простежується зона стабільного накопичення грубоуламкового матеріалу і подальшого швидкого переходу до накопичення дрібнодисперсної фракції. Слід зазначити, що за геофізичною інформацією спостерігається подальше накопичення дрібнодисперсної фракції. Тобто, велика частина пачки заміщена перешаруванням глинистих і заглинизованих пропластків. Співставляючи цю ділянку на схемах дисперсності та ритмічності можна стверджувати, що в період накопичення осадів тут відбувались часті, але не суттєві зміни умов і проникність пачки буде поступово зменшуватись від підшови до покрівлі пласта. Проперфоровані інтервали свердловин цієї ділянки підтверджують роботу тільки нижньої частини пласта.

Проведена робота свідчить про можливість за даними геофізичних досліджень свердловин диференціювати продуктивні пачки нафтогазових родовищ за ознакою динаміки накопичення дрібнодисперсної фракції. Також доведено, що створені схеми розташування зон із різною динамікою накопичення дрібнодисперсної фракції відкладів продуктивних горизонтів та доповнюючі їх схеми частоти зміни умов накопичення осадів в період формування гірських порід продуктивних пачок Семенівського нафтового родовища, характеризують літофаціальні неоднорідності пластів-колекторів та дозволяють підвищити достовірність побудови фільтраційної моделі, яка є основою для проектування системи розроблення покладів.

Література

1 Жижченко Б.П. Методы палеогеографических исследований в нефтегазоносных областях / Жижченко Б.П. – М.: Недра, 1974. – 376 с.

2 Седиментология / [Градзинский Р., Костецкая А., Радомский А., Унруг Р.] ; Пер. с польск. – М.: Недра, 1980. – (Пер. изд. ПНР, 1976. – 640 с.)