

ГЕОЛОГІЯ

УДК 553.981

*В.М. Абеленцев, к.геол.н., зав. сектором,

**А.Й. Лур'є, д.г.-м.н. професор,

*Л.О. Мищенко, ст.н.с.,

*Український науково-дослідний інститут природних газів,

**Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

ДОСЛІДЖЕННЯ НЕОДНОРІДНОСТІ ПОРОВОГО СЕРЕДОВИЩА ПЛАСТІВ-КОЛЕКТОРІВ З МЕТОЮ ОПТИМІЗАЦІЇ ВИЛУЧЕННЯ ВУГЛЕВОДНІВ

За результатами дослідження неоднорідності порового середовища зроблений висновок, що фактор шаруватості пластів-колекторів є причиною виникнення негативних явищ в процесі розробки покладів вуглеводнів. Запропоновано класифікацію шаруватості порід-колекторів на «аномальні», які створюють негативні явища при розробці, та основні фонові прошарки. Представлено методики визначення «аномального» колектора в об'ємі покладів та побудов карт контрастності з метою оконтурення ділянок, які є потенційно небезпечними в процесі розробки.

Ключові слова: макронеоднорідність, шаруватість порід-колекторів, контрастність, кількісні та якісні чинники, «аномальні» та фонові колектори, фільтраційна система.

В.М. Абеленцев, А.И. Лурье, Л.А. Мищенко. ИССЛЕДОВАНИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ ПОРОВОГО ПРОСТРАНСТВА ПЛАСТОВ-КОЛЛЕКТОРОВ С ЦЕЛЬЮ ОПТИМИЗАЦИИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ. По результатам исследования неоднородности поровой среды сделан вывод, что фактор слоистости пластов-коллекторов является причиной возникновения негативных явлений в процессе разработки залежей углеводородов. Предложено классификацию слоистости пород-коллекторов на «аномальные», которые создают негативные явления при разработке, и основные фоновые слои. Представлено методики определения «аномального» коллектора в объеме залежей и построенный карт контрастности с целью оконтуривания участков, потенциально опасных в процессе разработки.

Ключевые слова: макронеоднородность, слоистость пород-коллекторов, контрастность, количественные и качественные факторы, «аномальные» и фоновые коллекторы, фильтрационная система.

Розробка багатьох покладів вуглеводнів (ВВ) основних нафтогазоконденсатних родовищ Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ) ускладнюється за рахунок обводнення покладів та свердловин, проривів газу з газової шапки в нафтову частину, блокування значної частини газу та нафти за фронтом прориву пластової води та ін. За цих причин на багатьох об'єктах, які перебувають в розробці, фонд експлуатаційних свердловин значно зменшився. Дана проблема досить актуальна. Так, наприклад, на родовищах північної прибортової зони ДДЗ на даний час зосереджені залишкові запаси вуглеводнів, які за об'ємами рівнозначні відкриттю декількох родовищ, аналогічних Березівському [1].

Актуальність роботи полягає у визначенні причин, які зароджують негативні явища в процесі розробки покладів ВВ, що дозволить надати рекомендації щодо їх попередження.

З аналізу розробки багатьох експлуатаційних об'єктів, в тому числі родовищ північної прибортової зони ДДЗ, зроблено висновок, що перелічені вище негативні явища контролюються літолого-фаціальною неоднорідністю пластів-колекторів, в першу чергу їх диференціацією фільтраційно-ємнісних властивостей (ФЄВ). У нафтовій геології розрізняють [2] два види літологічно-фаціальної неоднорідності пластів-колекторів: мікро- і макронеоднорід-

ність. Мікронеоднорідність – зміна речового складу прошарків, що пов'язано з мінливістю фаціального складу, структури і текстури порід, з появою глинистості та цементації, які приводять до різких змін пористості і проникності, що є наслідком умов осадконакопичення або впливу діагенетичних процесів. Макронеоднорідність – мінливість форми будови пласта-колектора: різкі зміни товщини, розчленування на прошарки (шаруватість), переривчастість і лінзовидність. При вивченні макронеоднорідності суттєве значення має дослідження ступеню диференціації порід-колекторів, особливо їх шаруватості по розрізу продуктивного пласта [3]. Авторами встановлено, що саме шаруватість порового середовища сприяє виникненню негативних явищ в процесі розробки покладів ВВ. Тому в даній роботі зроблений акцент саме на дослідженні шаруватості пластів-колекторів.

Крім загальноприйнятих параметрів (коєфіцієнтів), які зазвичай застосовують для вивчення макронеоднорідності порід-колекторів [2], авторами для вирішення конкретних практичних задач, що постають при розробці та до-розвідці покладів ВВ, в даній роботі запропоновано наступні додаткові параметри, які в більш повній мірі характеризують шаруватість порід:

- **контрастність** (інтенсивність, різкість) зміни по розрізу покладу прошарків з

максимальними параметрами ФСВ (проникність, пористість) відносно фонових значень пласта-колектора, які визначаються співвідношенням кількісних та якісних ФСВ параметрів;

- **кількісні та якісні чинники** – абсолютні значення показників ФСВ по розрізу пласта-колектора та співвідношення параметрів високопроникного прошарку відносно фонових значень у розрізі свердловини.

З вищеперелічених параметрів шаруватості відкладів по розрізу пластів-колекторів саме контрастність зміни прошарків з різними ФСВ має принципове значення при розробці та дорозвідці покладів ВВ. Під контрастністю розуміється ступінь різкості переходу параметрів високопроникного прошарку до фонових кондиційних значень ФСВ у колекторі. Ці переходи мають різну інтенсивність, але саме вони обумовлюють ускладнення в процесі розробки та дорозвідки покладів ВВ.

Згідно аналізу більш ніж 400 заключень результатів геолого-промислових контрольних досліджень свердловин (ГДС-К) по гор. В-16, В-17, Т-1 Тимофіївського родовища, гор. С-5, В-16 Котелевського та Березівського родовищ, гор. Б-8, Б-12 Кременівського родовища та багатьох інших встановлені наступні, найбільш показові, характеристики контрастності:

- монотонний (плавний) характер зменшення ФСВ від високопроникного прошарку до фонових значень. Наприклад, зміна K_n : 26-24-22-20-18-16% і т.д.;

- ступінчастий характер зміни ФСВ по розрізу відбувається за схемою K_n : 26-22-18-14% і т.д.;

- різкий (стрибкоподібний) характер зміни ФСВ по розрізу пласта-колектора. Зміна параметрів відбувається за наступною схемою K_n : 26-16-12-8%, або 16-12-8% і т.д.

Під кількісним чинником співвідношення високопроникних прошарків, відносно фонових значень, мається на увазі абсолютна величина ФСВ (проникності, пористості, ефективної товщини). Тобто, високопроникний прошарок залягає у розрізі серед інших порід, фонове значення параметрів яких на порядок менше, ніж у даного високопроникного прошарку.

Під якісним чинником співвідношення прошарків з різними за величинами ФСВ (проникність, пористість та ін.) по розрізу пласта-колектора автори пропонують розглядати не абсолютні значення параметра ФСВ високопроникного прошарку, а його співставлення з фоновими значеннями. Тобто, аналізується (ви-

вчається) якісний перехід максимальних значень параметрів до фонових.

Фактору шаруватості пластів-колекторів та його впливу на розробку покладів ВВ приділялась увага багатьма дослідниками. За результатами аналізу літературних джерел [3, 4, 5, 6, 7] доведено, що високопроникні та менш проникні прошарки в процесі розробки покладів виконують суттєво різні функції при вилученні ВВ з них. Високопроникні прошарки у поровому середовищі характеризуються обмеженими запасами ВВ, але вони виконують функцію основних транспортних каналів, які забезпечують рух пластового флюїду до вибоїв свердловин. Менш проникні прошарки (кондиційні) у поровому середовищі характеризуються основними об'ємами запасів ВВ, їх функція полягає у «підживленні» транспортних каналів високопроникних прошарків.

У роботі [4] аналізувалась розробка великих масивних і масивно-пластових покладів у теригенних і карбонатних породах-колекторах Оренбурзького, Астраханського, Уренгойського та Медвежого родовищ. Авторами був введений термін «суперколектор», під яким вони розуміли високопроникні прошарки у відносно щільній матриці, що створюють «основну транспортну систему» покладу, забезпечують надходження газу у свердловини і підключення до газовіддачі основного менш проникного колектору. Як слідує з роботи [4] під «суперколектором» розуміються прошарки з абсолютною проникністю, яка перевищує проникність низькопроникних колекторів на 2-3 і більше порядків. Тобто, «суперколектор» характеризується кількісним значенням параметрів, а якісна складова розподілу параметрів не враховується.

О. Денком [5] теж були детально розглянуті та проаналізовані параметри фільтраційно-ємнісних систем. Фільтраційна система колектора розглядається як дві підсистеми: дренажна (дрени) по аналогії з «суперколектором» у [4] та матричну по аналогії з «низькопористим» колектором у [4].

Тобто, в обох моделях шаруватість порового середовища класифікується як «суперколектора», дрени, низькопористі, матриці та ін. Тобто, характеризується кількісними значеннями параметрів, а якісна складова розподілу параметрів практично (або зовсім) не враховується.

Авторами статті запропоновано іншу класифікацію шаруватості порід-колекторів, яка враховує генетичний зв'язок між поровим середовищем та вилученням з нього флюїдів. Виходячи з неоднорідності пластів-колекторів, яка характеризує високопроникні прошарки через

показник їх контрастності серед вміщуючих їх порід та їх негативного впливу на розробку покладів ВВ, пропонується такі інтервали розрізу називати «аномальними». Менш проникні прошарки, які складають основний об'єм розрізу пласта-колектору, але є кондиційними (значення ФЄВ вище граничних), вважати як фоновими.

При вивченні структури порового середовища в нафтогазопромисловій практиці у геологів постійно виникає проблема визначення (встановлення) саме «аномального» колектора, який ускладнює процес розробки.

В даній статті представлена методика, яка дозволяє на базі аналізу ФЄВ конкретного покладу ВВ визначити межі розповсюдження «аномального» колектора. Методично «аномальні» прошарки у розрізі пластів-колекторів пропонується встановлювати за рахунок якісних чинників, під якими розуміється співставлення абсолютних значень кількісних чинників ФЄВ (проникність, пористість, ефективна товщина та ін.) високопроникних інтервалів з фоновими.

Структура порового середовища, тобто його

контрастність, визначається на базі графіка залежності, щонайменш, двох якісних чинників. По осі абсцис відкладається значення відношення ефективної товщини «аномального» прошарку до сумарної ефективної товщини пласта-колектора ($h_{\text{еф}}^{\text{ан}}/h_{\text{еф}}^{\text{сум}}$). По осі ординат – середнє значення відношення коефіцієнта пористості (проникності, гідропровідності та ін.) фонового колектора до значення коефіцієнта пористості (проникності, гідропровідності та ін.) «аномального» прошарку ($K_{\text{п}}^{\text{фон}}/K_{\text{п}}^{\text{ан}}$).

Достовірність запропонованої методики визначення «аномального» колектора була апробована на багатьох експлуатаційних об'єктах розробки родовищ північної прибортової зони ДДз. На рисунку 1, як приклад, наведений графік залежності (контрастності) відповідних якісних чинників нафтогазоконденсатного покладу горизонту Т-1 Тимофіївського родовища. Як слідує з графіка, оброблений масив даних якісних чинників групується в три зони. Перша зона по осі абсцис ($h_{\text{еф}}^{\text{ан}}/h_{\text{еф}}^{\text{сум}}$) обмежена значеннями якісного чинника: 0,65-1,0; по осі ординат ($K_{\text{п}}^{\text{фон}}/K_{\text{п}}^{\text{ан}}$) – 0,8-1,0. Друга, відповідно: 0,3-0,65 та 0,4-0,8. Третя – 0,1-0,4 та 0,2-0,6.

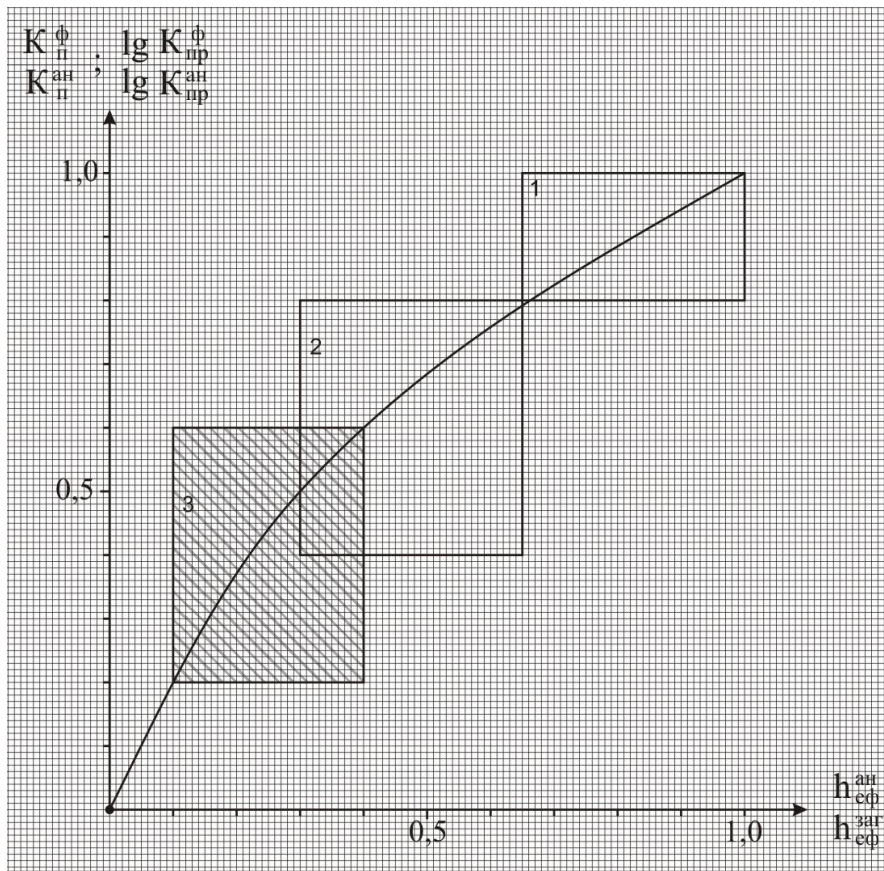


Рис. 1. Графік контрастності пластів-колекторів горизонту Т-1 Тимофіївського родовища.

Групування значного масиву даних якісних чинників ФЄВ, на базі яких визначається ступінь контрастності порового середовища, що-

найменше в три зони, не є випадковим. Крім покладу ВВ горизонту Т-1 Тимофіївського НГКР аналогічні графіки для визначення пара-

метра контрастності були побудовані для наступних експлуатаційних об'єктів: горизонту Т-1 Куличихінського, горизонту В-16 Гадяцького, горизонту С-5 Котелевського та Березівського родовищ. В кожному з вищеперелічених покладів ВВ ступінь параметра контрастності теж групується в три зони якісних чинників ФЄВ. Тобто, спостерігається певна закономірність, яка полягає в тому, що кожна з виділених зон контрастності порового середовища характеризується певними ускладненнями, які виникають при розробці покладів ВВ.

Перша зона характеризується як однорідний за ФЄВ пласт-колектор з витриманими значеннями пористості та проникності по розрізу свердловини незалежно від їх абсолютних значень. За параметром контрастності відноситься до монотонного типу диференціації ФЄВ. При такому характері зміни ФЄВ у процесі розробки покладів ВВ не встановлені (не спостерігаються) по факту такі негативні явища як вибіркоче обводнення або прориви газу з газової частини у нафтову. Спостерігається тільки рівномірний підйом флюїдорозділів.

Друга зона характеризується як проміжний тип колектора. За параметром контрастності відноситься до ступінчастого типу диференціації ФЄВ. При такому характері зміни ФЄВ негативні явища у процесі розробки покладів ВВ практично не встановлені. Як правило, спостерігається конусоутворення, нерівномірний (до 5 м) підйом рівня флюїдорозділів (це ще не є вибіркочним обводненням). Тобто, власне високонепроникний («аномальний») прошарок при такому характері зміни ФЄВ суттєво не ускладнює процес розробки.

Третя зона характеризується як різко диференційований тип колектора, саме в якому присутні «аномальні» прошарки, які по значенням пористості та, особливо, проникності суттєво (стрибокподібно) відрізняються від фонових значень пласта-колектора. За параметром контрастності відноситься до різкого типу диференціації ФЄВ. Це є саме такий тип розрізу, який породжує всі негативні явища в процесі розробки, а саме: вибіркоче обводнення, прориви газу з газової шапки, блокування значних об'ємів ВВ за фронтом прориву води та ін. Співвідношення фільтраційно-ємнісних параметрів (проникності, пористості, ефективних товщин) по розрізу пласта-колектора, які наведені вище, є найбільш небезпечними в процесі розробки покладів ВВ і їх недооцінка (не врахування) приводить до суттєвих ускладнень.

Таким чином, побудова графіка контрастності для конкретного покладу ВВ зводиться до визначення межі якісних чинників, які характе-

рні для третьої зони з різко диференційованим типом колектора, саме в якому присутні «аномальні» прошарки.

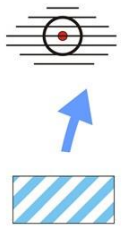
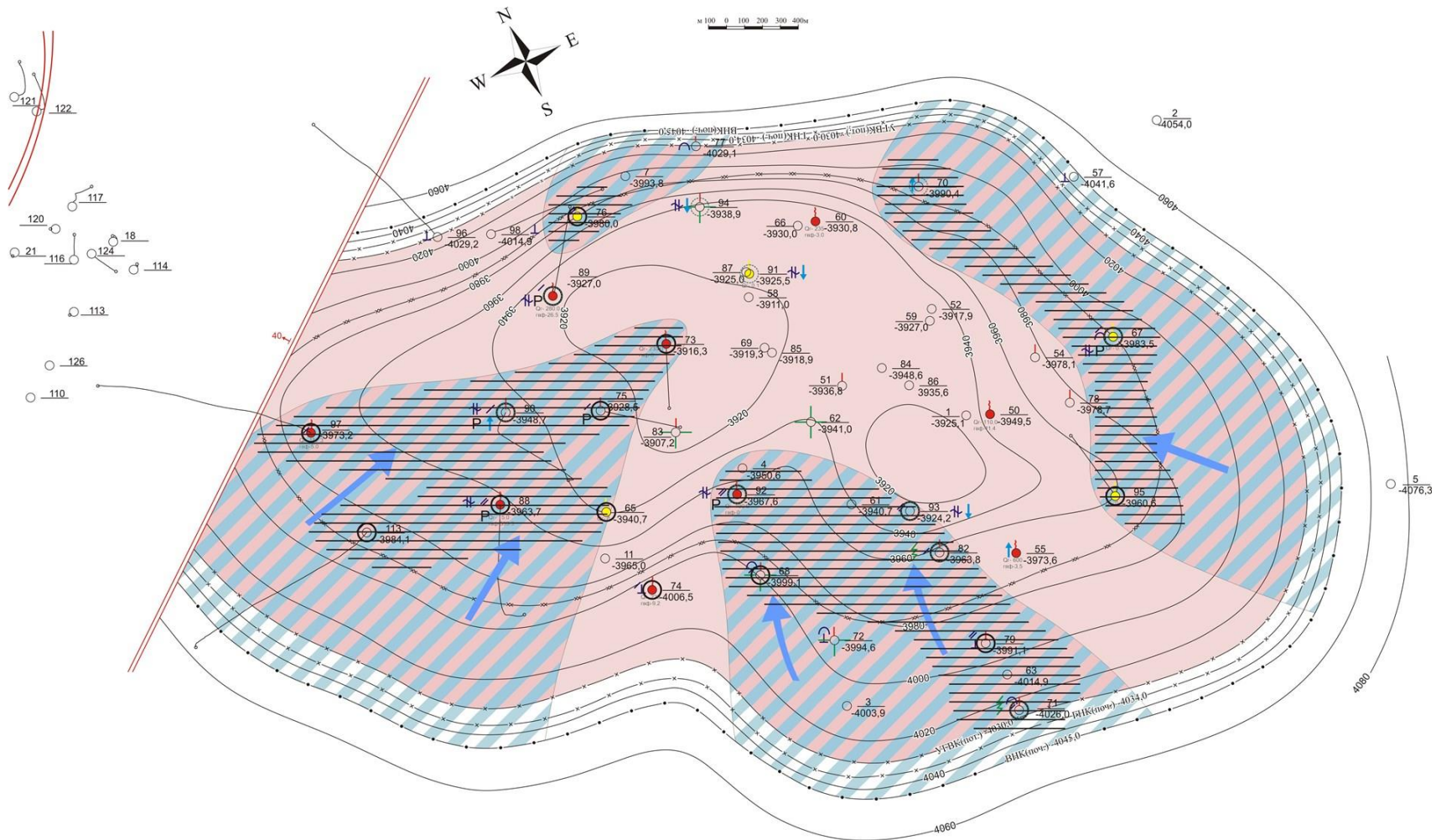
Звернемо увагу на наступну важливу особливість неоднорідності порового середовища. За результатами аналізу значного об'єму результатів ГДС-К, на базі яких встановлені прояви негативних явищ (вибіркоче обводнення, прориви газу та ін.) при розробці покладів ВВ, зроблено висновок, що «аномальний» прошарок може характеризуватись широким спектром абсолютних значень пористості та проникності (не обов'язково максимальним). Тобто, прошарок в розрізі пласта-колектора буде характеризуватись як «аномальний» при умові, що його абсолютні значення параметрів ФЄВ значно (стрибокподібно) перевищують фонові.

Особливості структури порового середовища, тобто диференціація ФЄВ пластів-колекторів по розрізу, в першу чергу проникності, визначаються побудовою карт контрастності. Методика їх побудов полягає в наступному. На базі графіка контрастності конкретного горизонту в межах площі його продуктивності оконтурюють ділянки розвитку «аномальних» прошарків (третья зона на графіку). На рисунку 2, як приклад, наведена карта контрастності продуктивного горизонту Т-1 Тимофіївського родовища, на якій оконтурені «аномальні» ділянки. Саме ці ділянки покладу і є потенційно небезпечними при обводненні за вибіркочним механізмом.

Наведені вище дослідження особливостей неоднорідності порового середовища пластів-колекторів має пряме практичне застосування і спрямоване на оптимізацію вилучення ВВ. Вирішення цієї проблеми полягає у визначенні структури порового середовища, а саме визначенні «аномального» колектора за наведеною методикою. Такий підхід спрямований на попередження негативних явищ, що виникають в процесі розробки, а саме – обводнення покладів та свердловин, проривів газу з газової шапки в нафтову частину, блокування значної частини газу та нафти за фронтом прориву пластової води та ін. Як показала практика апробації даної методики, саме ці заходи позитивно вплинуть на оптимізацію вилучення ВВ.

На базі запропонованої методики вирішуються ряд практичних задач, які спрямовані на оптимізацію вилучення ВВ.

Методика дозволяє визначити особливості фільтраційної системи покладів ВВ, що має вирішальне значення при їх розробці. Проведений аналіз свідчить про те, що в межах родовищ північної прибортової зони ДДз, з позиції розповсюдження різкої шаруватості пласта-



- зони пласта-коллектора, які характеризуються високою контрастністю параметра ФЄВ;
- прогнозний напрямок руху води;
- ділянки покладу, що фактично обводнені вибірковими водними потоками.

Рис. 2. Карта контрастності горизонту Т-1 Тимофіївського родовища

колектора, сумарний ефективний поровий об'єм покладу поділяється на два нерівноцінних об'єми: фоновий, який становить 70-90% від сумарного, та високопроникний, «аномальний» (10-30%). Відпрацювання запасів ВВ в процесі розробки у кожному з порових об'ємів принципово відрізняються. Підкреслимо ще раз, що «аномальні» прошарки у поровому середовищі виконують функцію основних транспортних каналів, які забезпечують рух пластового флюїду до вибоїв свердловин. Функція фонових прошарків у поровому середовищі полягає у «підживленні» транспортних каналів «аномальних» прошарків.

Таким чином, виходячи з позиції видобутку вуглеводнів одночасно з «аномальних» та фонових прошарків, які складають пласт-колектор, їх треба розглядати з фізичної точки зору як дві фільтраційні підсистеми. Зрозуміло, що ці дві підсистеми в процесі розробки повинні поєднуватись в єдину збалансовану фільтраційну систему, яка б забезпечувала оптимальне вилучення ВВ.

Як слідує з рівнянь фільтрації вуглеводнів до вибоїв свердловин, збалансованість фільтраційної системи пласта-колектора з різко диференційованими значеннями ФЄВ можлива при умові дотримання певних технологічних параметрів: вибійних тисків, депресій, дебітів та ін. На думку авторів, визначення оптимальної депресії на пласт-колектор одночасно для «аномальних» та фонових прошарків має суттєве значення. Абсолютне значення збалансованої депресії можливо отримати з аналізу кривих відновлення вибійних тисків. Основна задача полягає, по-перше, у запобіганні передчасного виснаження «аномальних» прошарків, відповідно, створення в них значних депресійних «воронок» з метою уникнення негативних явищ

при розробці покладів ВВ, по-друге, досягти максимально можливих дебітів у фоновому колекторі.

З результатів дослідження різкошаруватого порового середовища слідує, що при вторинному розкритті таких пластів-колекторів (перфорація) необхідно застосувати специфічний підхід. Виходячи з вищенаведених особливостей видобутку ВВ з різкошаруватих пластів-колекторів, рекомендується розкриття продуктивного інтервалу здійснювати селективно окремо фонових та «аномальних» прошарків.

Основні висновки статті наступні:

- запропоновано додаткові параметри, які в більш повній мірі характеризують шаруватість порід: контрастність зміни високопроникних прошарків відносно фонових, кількісні та якісні чинники співвідношення параметрів ФЄВ;

- запропоновано класифікацію шаруватості порід-колекторів на «аномальні», які створюють негативні явища при розробці, та основні фонові прошарки;

- представлено методику визначення «аномального» колектора в розрізі, яка направлена на попередження негативних явищ, що виникають в процесі розробки (обводнення покладів та свердловин, проривів газу з газової шапки в нафтову частину, блокування значної частини газу та нафти за фронтом прориву пластової води та ін.);

- наведено методику побудови карт контрастності шаруватості пластів-колекторів з метою прогнозування ділянок, найбільш схильних до вибіркового обводнення;

- надано рекомендації щодо розкриття різкошаруватих пластів-колекторів з метою уникнення негативних явищ при розробці покладів вуглеводнів та досягнення оптимальних дебітів.

Література

1. Абеленцев, В. М. Геологічні умови вилучення залишкових запасів і дорозвідки родовищ вуглеводнів північної прибережної зони Дніпровсько-Донецької западини [Текст] : монографія / В. М. Абеленцев, А. Й. Лур'є, Л. О. Міщенко. – Х. : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2014. – 192 с. – Бібліогр. : с. 183–190. – ISBN 978-966-285-098-7.
2. Іванишин, В. С. Нафтогазопромислова геологія [Текст] / В. С. Іванишин ; рец. Б. Й. Маєвський, Ю. З. Крупський. – Л. 2003. – 648 с.
3. Ботвінкіна, Л. Н. Шаруватість осадових порід [Текст] / Л. Н. Ботвінкіна – М., 1962. [Тр. Геологічного інституту АН (Академія наук) СРСР, ст. 59].
4. Закиров, С. Н. Суперколектори и их роль в управлении системой разработки месторождений [Текст] / С. Н. Закиров, И. П. Жабров, М. А. Политыкина // Геология нефти и газа. – 1986. – №8. – С. 1–6.
5. Денк, С. О. Структура и состояние фильтрационной системы пласта –колектора [Текст] / С. О. Денк. – П. : 1999. – 273 с.
6. Нестеренко, М. Ю. Петрофізичні основи обтунтування флюїдонасичення порід-колекторів [Текст] : монографія / М. Ю. Нестеренко – К. : УкрДГРІ, 2010. – 224 с.
7. Абеленцев, В. М. Особливості обводнення газоконденсатних та нафтових покладів родовищ Дніпровсько-Донецької западини [Текст] / В. М. Абеленцев, А. Й. Лур'є, М. Ю. Нестеренко // Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна. – 2013. – № 1084, випуск 39. – Харків. – С. 9–14.