

## ПРОГНОЗУВАННЯ ВИБІРКОВОГО ОБВОДНЕННЯ ПОКЛАДІВ ВУГЛЕВОДНІВ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЛІТОЛОГІЧНИХ ТА ФІЛЬТРАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОРІД-КОЛЕКТОРІВ

За результатами побудов суміщених карт, які характеризують гідродинамічні, змочувальні властивості та структуру порового середовища пластів-колекторів авторами запропоновано методику прогнозування обводнення покладів вуглеводнів за вибірковим механізмом до початку розробки родовища. Ефективність метода підтверджена співставленням побудованої прогнозованої карти з картою фактичного обводнення покладів в процесі розробки.

**Ключові слова:** вибіркове обводнення, методика прогнозування, суміщення карт, поклад.

**В.М. Абеленцев, Т.Я. Сусяк, В.О. Пашков. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИЗБИРАТЕЛЬНОГО ОБВОДНЕНИЯ ЗАЛЕЖЕЙ УГЛЕВОДОРОДОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛИТОЛОГИЧЕСКИХ И ФИЛЬТРАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПОРОД-КОЛЛЕКТОРОВ.** По результатам построенной совмещенных карт, характеризующих гидродинамические, смачиваемые свойства и структуру порового среды пластов-коллекторов авторами предложена методика прогнозирования обводнения залежей углеводородов за избирательным механизмом до начала разработки месторождения. Эффективность метода подтверждена сопоставлением построенной прогнозной карты с картой фактического обводнения залежей в процессе разработки.

**Ключевые слова:** избирательное обводнение, методика прогнозирования, совмещение карт, залежь.

Обводнення свердловин за вибірковим механізмом та покладів вуглеводнів (ВВ) значно ускладнює розробку багатьох основних нафтогазоконденсатних родовищ Дніпровсько-Донецької западини (ДДз), наприклад Гадяцького, Куличихинського, Тимофіївського, Котелевського, Березівського, Степового, Краснокутського та інших.

Актуальність проблеми полягає в тому, що на родовищах північної прибортової зони ДДз, які перебувають в розробці, за рахунок обводнення фонд експлуатаційних свердловин зменшився більш ніж у два рази. При цьому, у родовищах, які розглядаються, зосереджені залишкові запаси газу понад 100 млн т. умовного палива. Тому прогнозування обводнення покладів ВВ за вибірковим механізмом має принципове практичне значення [1].

При розробці покладів ВВ в проектній документації наведено різноманітні методи боротьби з обводненням свердловин. Але підкреслимо, що всі вони спрямовані на боротьбу з припливами пластової води, яка фіксується в стволі свердловини по факту.

Відмінність запропонованої методики полягає в прогнозуванні обводнення покладів за вибірковим механізмом ще до введення покладів ВВ у розробку. Це дає можливість фахівцям, які здійснюють авторський нагляд за розробкою родовищ, корегувати систему та показники об'ємів вилучення ВВ, що дозволяє мінімізувати вибіркове надходження пластової води.

В працях [1,2] встановлено причини зародження дії вибіркового механізму обводнення покладів ВВ та фізичні передумови його проти-

кання. В процесі розробки покладів, видобутку певних об'ємів вуглеводнів, з часом відбувається поступове зниження пластових тисків у покладах, що призводить до порушення природної гідродинамічної рівноваги в системі водоносний комплекс-поклад. За рахунок перепадів пластових тисків у водоносному комплексі (початковий тиск) та у покладі, що перебуває у розробці (поточний тиск), пластова вода починає надходити в поклад і заміщувати частину раніше нафтогазонасиченого порового об'єму. Тому, є природною причиною поява пластової води в свердловинах за механізмом фронтального підйому флюїдорозділів (ВНК, ГВК), конусоутворення та вибіркового обводнення по найбільш проникних прошарках малої, як правило, товщини.

Найменш прогнозованим і найнебезпечнішим в процесі розробки родовища є обводнення продуктивних горизонтів за вибірковим механізмом. Вибірковість надходження пластових вод до покладів ВВ по окремих прошарках базується на диференційованості проникності розрізу та перепадах пластового тиску в ньому – пластова вода рухається по найбільш проникних прошарках, які до того ж характеризуються найменшими значеннями поточного пластового тиску.

У даній статті авторами при прогнозуванні обводнення покладів ВВ за вибірковим механізмом враховувались не лише диференційованість проникності розрізу по окремих прошарках та перепади пластових тисків, а також і змочувальні властивості гірських порід по розрізу [3]. Під змочувальними властивостями розуміють здатність порових каналів змочуватися

і акумулювати пластову воду. За цим критерієм породи поділяються на гідрофільні, тобто ті, що змочуються й акумулюють пластову воду, і гідрофобні, які змочуються в меншій мірі (частково) і “відштовхують” пластову воду.

У працях [4,5] встановлено, що саме гідрофобні, або частково гідрофобізовані, порові середовища, мають природну схильність до обводнення за механізмом вибіркового надходження до них пластових вод. У гідрофобних породах вуглеводні (в першу чергу, нафта) утримуються скелетом породи сильніше, ніж вода, тому їх фазові проникності нижчі проникності по воді. Внаслідок цього виникає ефект “ковзання” пластової води по гідрофобній поверхні пор, тобто вода має більший фільтраційний потенціал, ніж вуглеводні. Тобто, саме гідрофобні породи-колектори ускладнюють процес розробки покладів вуглеводнів.

З короткого опису дії механізму вибіркового обводнення слідує, що прогнозування даного природного процесу базується, щонайменш, на трьох складових. По-перше, на гідродинамічних властивостях, які характеризуються ефективною нафтогазонасиченою товщиною та коефіцієнтом проникності і представлена фільтраційними параметрами: коефіцієнтами гідропровідності, провідності та ін. По-друге, змочувальних властивостях пластів-колекторів, які обумовлені характером гідрофобності порового середовища. По-третє, структурі порового середовища, яка характеризується, в першу чергу, ступінню шаруватості (контрастності) пластів-колекторів, тобто співвідношенням по розрізу високопроникних та фонових прошарків.

З вищенаведених складових слідує, що прогнозування дії механізму вибіркового обводнення покладів ВВ повинно базуватись на побудові щонайменше трьох карт, які відображають гідродинамічні властивості, змочувальні властивості порових каналів та шаруватість (контрастність) пластів-колекторів. Методично побудова карт враховує максимально можливий обсяг геологічного, геолого-геофізичного, літологічного, фізико-хімічного та ін. наявного фактичного матеріалу по кожному конкретному родовищі, що вивчається.

**Гідродинамічну складову** дії механізму вибіркового обводнення пропонується враховувати за допомогою побудови карт гідропровідності (рис. 1) або інших фільтраційних параметрів. Як свідчить багаторічна практика дослідження обводнення покладів ВВ та свердловин, вибіркового водний потік рухається вглиб нафтогазонасиченого порового середовища по найбільш проникних прошарках з найменшою ефективною товщиною. Ділянки покладу з най-

більшими значеннями коефіцієнту гідропровідності є найбільш небезпечними з точки зору виникнення вибіркового обводнення покладів ВВ в процесі розробки.

**Встановлення змочувальних властивостей** порід-колекторів, які обумовлені характером гідрофобності порового середовища проводяться наступним чином.

Визначення змочувальних властивостей порід-колекторів проводяться за допомогою лабораторних досліджень керну. Але, враховуючи суттєву мінливість характеру змочуваності порід, зрозуміло, що навіть в межах одного покладу встановити ділянки розвитку гідрофобних порід-колекторів лише за керновим матеріалом, у достатній мірі, неможливо. Тому, для визначення характеру змочуваності порід-колекторів у покладі пропонується використати результати геофізичних досліджень у свердловинах. Для цього можна скористатися наступним емпіричним правилом [6,7]: розподіл між гідрофільним і гідрофобним колектором перебуває в межах 10-15 % наявності зв'язаної води, тобто, при коефіцієнті нафтогазонасиченості, що дорівнює 85-90 % і більше – порові канали пласта-колектора (прошарка) вважаються в більшій мірі гідрофобними. Для виявлення по площі та розрізу найбільш гідрофобізованих ділянок порід-колекторів пропонується, до введення покладів вуглеводнів у розробку, будувати карту коефіцієнту нафтогазонасиченості ( $K_{нр}$ ) (рис. 2). Найбільш водонебезпечними ділянками покладу, які можуть обводнюватися за вибіркоким механізмом, слід вважати зони покладу з  $K_{нр}$  більше, ніж 85-90 % [4].

**Особливості структури порового середовища**, тобто диференціація фільтраційно-ємнісних властивостей (ФСВ) пластів-колекторів по розрізу, в першу чергу проникності, визначаються побудовою графіків та карт контрастності. Методика побудови полягає в визначенні зон пласта-колектора, які характеризуються найбільш різкою контрастністю параметрів ФСВ: коефіцієнтів проникності, пористості та ефективної товщини. Саме ці ділянки, згідно практики розробки покладів ВВ, найбільш схильні до вибіркового обводнення.

Прогнозування обводнення покладів ВВ за вибіркоким механізмом до введення їх в розробку проводиться за наступним алгоритмом:

- за результатами інтерпретації геолого-геофізичних та гідродинамічних досліджень свердловин аналізуються параметри ФСВ пластів-колекторів (проникність, пористість, ефективна товщина та ін.);

- будуються карти гідродинамічної складової фільтраційної системи (коефіцієнтів про-

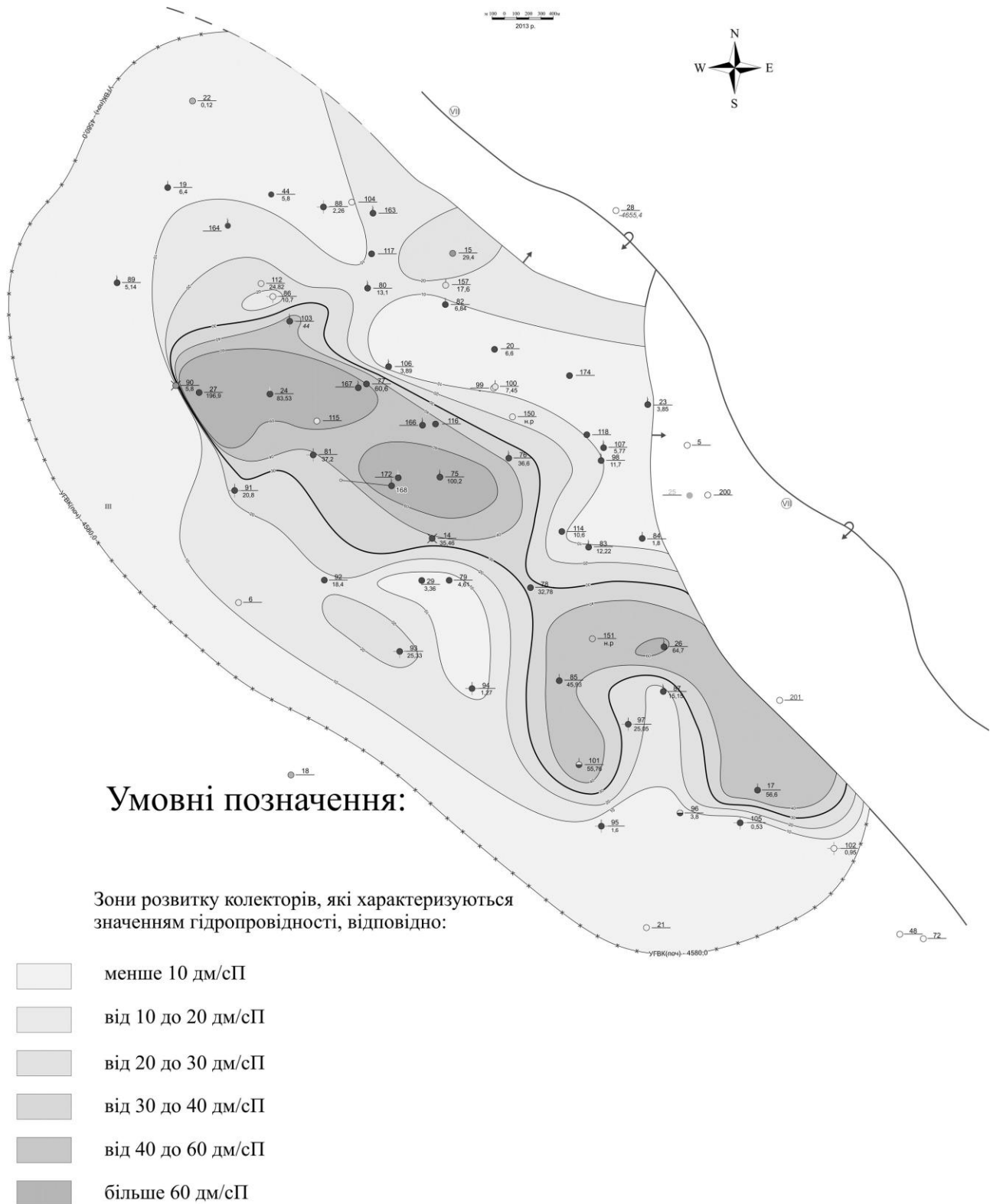


Рис. 1. Карта розвитку пластів-колекторів з максимальними значеннями коефіцієнта гідропровідності горизонту С-5 Котелевського родовища



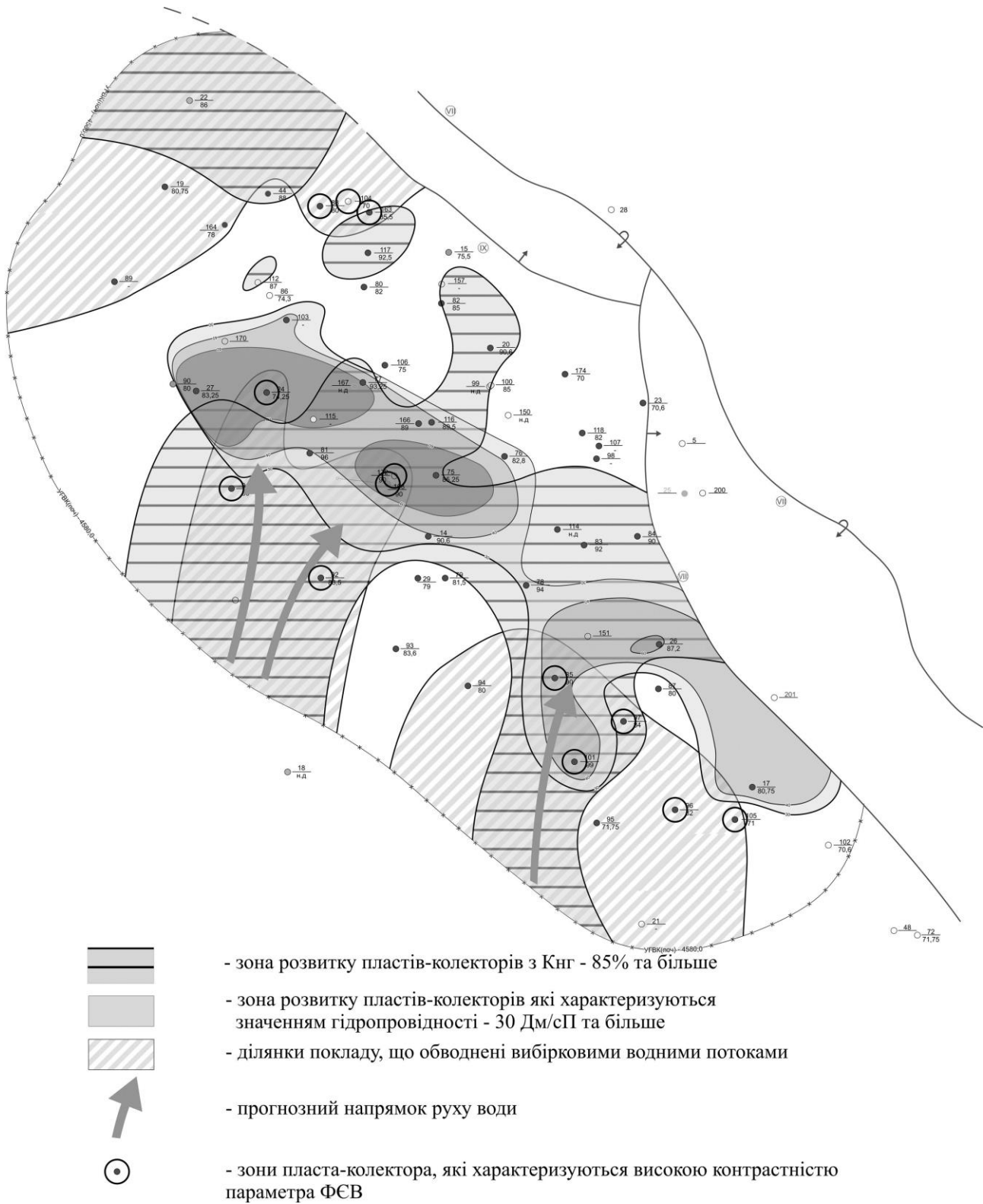


Рис. 3. Карта співставлення прогнозних та фактичних ділянок обводнення за вибірковим механізмом горизонту С-5 Котелевського родовища

никності, гідропровідності, провідності та ін.), на базі яких визначають потенційні напрямки руху пластових вод за вибірковим механізмом;  
 - згідно лабораторних та геолого-

геофізичних досліджень свердловин в межах площі покладу оконтурюються ділянки розвитку гідрофобних порід-колекторів, схильних до вибіркового обводнення;

- складаються графіки якісних показників шаруватості порового середовища. По осі абсцис відкладаються відношення ефективної товщини високопроникного прошарку до загальної ефективної товщини пласта-колектора. По осі ординат – відношення коефіцієнтів пористості (проникності) фонових прошарків до високопроникних. За допомогою графіка будуються карти контрастності пласта-колектора та виділяються зони їх розповсюдження. Ділянки з найбільш різкою контрастністю схильні до вибіркового обводнення покладів ВВ.

Основним елементом прогнозування обводнення покладів ВВ за вибіркоким механізмом є суміщення вищеописаних карт. З фізичної точки зору, суть суміщення карт полягає в тому, що вибіркоким водний потік буде рухатись від контуру початкових флюїдорозділів вглиб нафтогазонасичених порових об'ємів в напрямку розповсюдження гідрофобізованих порових каналів пластів-колекторів по найбільш проникних прошарках, які, до того ж, характеризуються різкою контрастністю параметрів ФЄВ (рис. 3).

Тобто, щонайменш три характеристики пласта-колектора, запропонованих авторами, дозволяють досить впевнено спрогнозувати можливі ділянки обводнення покладів ВВ за вибіркоким механізмом до введення їх в розробку.

Ефективність методики прогнозування вибіркового обводнення підтверджена порівнянням побудованої прогнозної карти з картою фактичного обводнення в процесі розробки газоконденсатного покладу гор. С-5 Котелевського родовища (рис. 3). Із співставлення карт слідує, що напрямки руху вибіркоких потоків цілком співпадають. Прогнозні та фактичні ділянки, які обводнені за вибіркоким механізмом, в плані співпадають на 80%. Певні відмінності

зумовлені нерівномірною сіткою розташування експлуатаційних свердловин (згідно ситуаційного плану місцевості) та їх фактичними дебітами. Крім того, прогнозні ділянки потенційного обводнення виявились дещо більшими за площею від фактичних, тобто в процесі подальшої розробки покладу гор. С-5 існує небезпека поширення вибіркового обводнення.

Практичне застосування запропонованої методики дозволяє ще на стадії проектування розробки родовищ враховувати потенційні водонебезпечні ділянки та вжити відповідні заходи щодо їх попередження (оптимальне визначення сітки експлуатаційних свердловин, їх дебітів, систему збору вуглеводнів, коригування вибірюних тисків та ін.). Дана методика прогнозування вибіркового обводнення апробована на багатьох експлуатаційних об'єктах, наприклад, на покладах ВВ гор. Т-1 Куличихинського та Тимофіївського родовищ, гор. С-5 Котелевського, Березівського та Степового родовищ.

В даній статі авторами запропоновано методику прогнозування вибіркового обводнення покладів вуглеводнів за результатами співставлення літологічних та фільтраційних властивостей порід-колекторів, шляхом побудови суміщених карт, які характеризують гідродинамічні, змочувальні властивості та структуру порового середовища. Ефективність методики підтверджена порівнянням побудованої прогнозної карти з картою фактичного обводнення в процесі розробки газоконденсатного покладу гор. С-5 Котелевського родовища.

Практичне застосування запропонованої методики дозволяє ще на стадії проектування розробки родовищ враховувати потенційні водонебезпечні ділянки та вжити відповідні заходи щодо їх попередження.

#### 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. Міценко. – Х. : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2014. – 192 с. – Бібліогр. : с. 183–190. – ISBN 978-966-285-098-7.
2. Шмыгля, П. Т. К вопросу изучения вторжения пластовых вод в газоконденсатную залежь Ленинградского месторождения. [Текст] / П. Т. Шмыгля, Л. И. Васильева // Труды КФ ВНИИ. – Вып. II. – Л. : Гостоптехиздат, 1963.
3. Абеленцев, В. М. Щодо причин зародження та дії механізму вибіркового обводнення газоконденсатних покладів [Текст] / В. М. Абеленцев // 36. наук. пр. «Питання розв. газової пром-ті України». – Харків : УкрНДІгаз, 2004. – Вып. 37. – С. 199–202.
4. Абеленцев, В. М. Прогнозування обводнення порід-колекторів за характером їхньої змочуваності [Текст] / В. М. Абеленцев // 36. наук. пр. «Питання розвитку газової промисловості України». – Харків : УкрНДІгаз, 2008. – Вып. 36. – С. 86–91.
5. 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, серія «геологія–географія–екологія». – № 1084. – Вып. 39. – Харків, 2013. – С. 9–14.
6. Нестеренко, М. Ю. Петрофізичні основи обтунтування флюїдонасичення порід-колекторів [Текст] : монографія / М. Ю. Нестеренко. – К. : УкрДГРІ, 2010. – 224 с.
7. Пирсон, С. Д. Учение о нефтяном пласте [Текст] / С. Д. Пирсон. – М. : ГНТИНГТЛ, 1961. – 570 с.