

ОСНОВНІ ГЕОЛОГО-ПРОМИСЛОВІ ЧИННИКИ, ЯКІ ЗУМОВЛЮЮТЬ ВИСОКУ ЕЛЕКТРОПРОВІДНІСТЬ ПОРІД-КОЛЕКТОРІВ

Д.Д.Федоришин, О.А.Гаранін, С.Д.Федоришин

ІФНТУНГ, 76019, Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42056,
e-mail: gdsf@nimg.edu.ua

Рассмотрены основные причины и исследованы факторы деформирующие электрические параметры нефтегазонасыщенных пород-коллекторов. Обоснованы взаимосвязи электрической проводимости и химреагентов, которые используются как добавки к буровым растворам. Разработаны критерии диагностики низкоомных пород-коллекторов по результатам бокового каротажного зондирования и бокового каротажа.

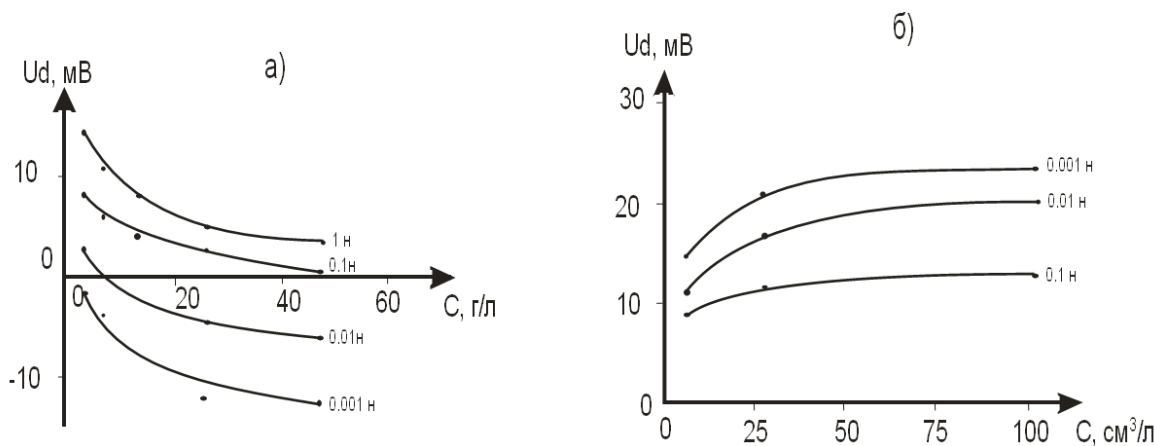
This article focuses on the reasons and factors that deform electric parameters of oil and gas saturated reservoirs. Proved is the interrelation of electro conductivity and chemical reagents that are employed as additives to drilling solutions. The data obtained from side logging probes and side logging services has enabled to work out the criteria that diagnoses low resistant reservoirs.

Зниження видобутку нафти і газу на нафтогазових родовищах України характеризується як об'єктивними так і суб'єктивними причинами, які на сьогодні мають місце. До об'єктивних причин можна віднести виснаження покладів вуглеводнів на родовищах, складні геологічні умови їх вилучення, а також недостатню кількість коштів на розвідку і розробку нових перспективно означених площ. Що стосується суб'єктивних причин, то їх можна характеризувати недостатньою інформативністю геолого-геофізичних досліджень, яка пов'язана як із апаратурно-технологічним забезпеченням свердловинних досліджень, так із відсутністю нових методологічних розробок в галузі обробки і інтерпретації даних геофізичних досліджень свердловин (ГДС). Наукові розробки, які впродовж тривалого часу проводилися багатьма вченими [1, 2], довели важливість і актуальність завдань щодо встановлення причин зниження ефективності геолого-геофізичних досліджень пошукових свердловин.

Однією із проблем, яка на сьогодні актуальна при обробці результатів електрометричних вимірювань, є встановлення адекватних пластивим умовам фізичних параметрів як у області присвердловинної зони пласта, так і у незайманій його частині. Розв'язок цієї проблеми дозволить підвищити ефективність комплексних геофізичних досліджень свердловин нафтогазових родовищ, буде сприяти однозначності визначення характеру насичення порід-колекторів та знизить до мінімуму пропуск продуктивних пластів-колекторів. В роботах, опублікованих з цього питання [3, 4] автори відзначають, що електричний питомий опір гірських порід залежить від багатьох чинників (літолого-петрографічних особливостей будови матриці породи, ступеню водонасичення, концентрації та мінерального складу солей у насичуючих породи пластивих водах і проникаючих у породи фільтратах промивних рідин, температури, тиску і багатьох інших). Однак, у публікаціях недостатньо приділена увага впливу хімічних реагентів, присутніх у фільтратах бу-

рових розчинів, на зміну питомого електричного опору порід-колекторів, а також на зміну їх фільтраційно-ємнісних властивостей.

Проведена нами комплексна обробка і інтерпретація результатів ГДС та аналіз отриманих даних дозволили виявити у ряді свердловин нафтогазових родовищ Дніпрово-Донецької западини (Кобзовське, Шевченківське, Селюхівське) та Більче-Волинської зони Карпатської нафтогазової провінції (Летнянське, Вишнянське, Вижомлянське) продуктивні об'єкти, які характеризуються аномально низькими питомими електричними опорами. Так у свердловині № 61 Південно-Шевченківського родовища на глибині 2802–2808 м у продуктивному пласті з дебітом нафти (Q_n) рівному $6,7 \text{ м}^3/\text{д}$ зареєстрований питомий електричний опір (ρ_n) становить 5–6 Ом·м. Теж саме спостерігається у свердловинах: № 66-Кобзівська (інт. 3617–3628 м, $Q_g = 61\,800 \text{ м}^3/\text{д}$, $\rho_n = 3,8 \text{ Ом м}$); № 28 – Кобзівська (інт. 3739–3770 м, $Q_g = 424\,400 \text{ м}^3/\text{д}$, $\rho_n = 7,0 \text{ Ом м}$). Аналогічна ситуація спостерігається за результатами електричного каротажа міоценових відкладів на інших нафтогазових родовищах. При дослідженні неоднорідних, тонкошаруватих порід геологічних розрізів, що розкриті на високомінералізованих промивних рідинах, фактичні криві бокового каротажного зондування (БКЗ) дуже сильно згладжені, а покази уявного опору у таких випадках занижені. Такі породи важко вивчаються за даними БКЗ, а оцінка їх істинного питомого опору можлива тільки за даними бокового каротажу (БК). Наприклад, у свердловині 812 – Пасічна в інтервалі 4540–4630 м при бурінні використовувалася промивний розчин з електричним опором 0,07 Ом·м. Завдяки цьому уявний електричний опір гірських порід, які досліджувались на великих зондах БКЗ не перевищував 30 Ом·м, в той час як за даними БК ці породи характеризувалися електричним опором 200–250 Ом·м. В цьому випадку результати бокового електричного зондування дають змогу проводити достовірну оцінку уявного електричного опору пластів-



а) – для розчинів КМЦ; б) – для розчинів КССБ;
шифр кривих – мінералізація розчинів NaCl без хімреагентів

Рисунок 1 — Залежність дифузійних потенціалів від концентрації хімреагентів в одному з контактуючих розчинів

колекторів тільки за умови, що відношення питомого електричного опору пласта, який досліджується, до питомого електричного опору бурового розчину не перевищує 1000. Для пластів, у яких ця умова не виконується, достовірність визначення питомого електричного опору знижується. Такі труднощі виникають, в основному, при інтерпретації кривих електричного зондування в пластах малої товщини і низького електричного опору.

Виходячи із реальної ситуації виникає необхідність встановлення причин невідповідності зареєстрованих методами електрометрії електричних параметрів характеру насичення пластів-колекторів. З цією метою нами проводились комплексні дослідження впливу різних факторів на величину електропровідності у породах-колекторах розкритих свердловинами. Експериментальні роботи виконувалися на керні, відібраному із продуктивних пластів як у процесі буріння, так і висвердленому із стінок свердловин за допомогою керновідбірників. Враховуючи те, що умови розкриття продуктивних порід-колекторів різні і зумовлені як геологічними факторами, так і технічним складом промивних рідин, які застосовуються при бурінні свердловин, нами моделювались різні можливі ситуації проникнення і взаємодії з пластовими флюїдами фільтратів промивних рідин. В практиці буріння для отримання потрібних властивостей бурових розчинів використовують наступні хімреагенти: вуглежний реагент (УЩР), гідролізований полікрилонітріл (гіпан), конденсовану сульфит-спиртову барду (КССБ), мало в'язкі марки натрієвої карбоксиметилцелюлози (КМЦ) та інші. Всі вказані вище хімреагенти суттєво впливають на електричні параметри продуктивних порід-колекторів та на їх фільтраційно-ємнісні властивості.

За результатами досліджень на керновому матеріалі встановлено, що бурові розчини з добавками хромпіку здатні до окиснення, завдяки чому зменшується потенціал глин та зростає

питомий електричний опір фільтратів бурових розчинів. Окрім цього добавка у розчин хромпіку зумовлює зменшення адсорбційно-дифузійної властивості гірських порід і призводить до зменшення рН розчинів. В той же час, бурові розчини з добавками КССБ та КМЦ підсилюють адсорбційно-дифузійні властивості глинистих гірських порід. Лабораторні дослідження впливу КССБ та КМЦ на величину дифузійного потенціалу показали, що найбільш від'ємні його значення відповідають розчинам, у яких хімреагенти підвищують концентрацію еквівалентно розчину солі NaCl. На рис. 1 зображено отримані нами графіки зміни дифузійного потенціалу (U_d) від концентрації хімреагентів КМЦ та КССБ в одному із контактуючих між собою розчинів. З цих графіків видно, що збільшення концентрації КМЦ у розчині приводить до такої самої зміни дифузійного потенціалу, що і збільшення у розчині концентрації кухонної солі (NaCl), тобто значення U_d змінюються від додатних до від'ємних (рис. 1, а). Розчини КССБ при контактах з розчинами NaCl породжують тільки додатні значення дифузійних потенціалів (рис. 1, б). Аналогічні дані було отримано нами при дослідженні розчинів гіпану, але останні призводять до значного підвищення коефіцієнта дифузії і, відповідно, дифузійного потенціалу.

При встановленні взаємозв'язку дифузійних потенціалів із електричним опором та сумарною концентрацією солей і хімреагентів у фільтраті промивної рідини нами виявлено, що при збільшенні відношення електричного опору пластової води до електричного опору фільтрату промивної рідини, значення дифузійних потенціалів зміщуються в сторону позитивних значень. Збільшення концентрації солей в моделі фільтрату промивної рідини призводить до зміни дифузійно-адсорбційних потенціалів від позитивних значень до від'ємних. Підтвердженням результатів нашого експерименту є робота В.Н.Кобранової [5], у якій зазначено, що збільшення відношення концентрацій зовніш-

нього контактуючого з породою розчину і внутрішнього флюїду призводить до зниження дифузійно-адсорбційного потенціалу.

Дані експериментальних досліджень показали, що добавки хімреагентів до слабо мінералізованих бурових розчинів зумовлюють зменшення їх питомого електричного опору, в той же час добавки хімреагентів до високо мінералізованих розчинів практично не впливають на їх питомий електричний опір. [6].

Добавки КССБ призводять до збільшення залишкового водонасичення гірських порід і як наслідок – до зменшення ефективної пористості і питомого електричного опору продуктивних пластів. Причому, найбільші такі зміни за результатами експериментів відбуваються у породах-колекторах з низькою пористістю. Аналогічні результати ми отримали при вивченні впливу на відповідні параметри порід добавок до моделей фільтратів промивних рідин хімреагенту окзилу.

Проникнення фільтратів промивних рідин з добавками КМЦ у породи-колектори також призводять до збільшення їх залишкового водонасичення (в 1,2–2 рази). Найбільший вплив добавок КМЦ на зменшення ефективної пористості гірських порід проявляється при наявності у породах високомінералізованих пластових хлоркальцієвих вод. При цьому завдяки хімічним взаємодіям КМЦ з розчиненими солями відбувається виникнення нерозчинного осаду, який у вигляді колоїдної маси закупорює присвердловинну частину пласта-колектора. Цей осад з часом під дією температури і тиску зміцнюється та перетворюється в досить тверду речовину, кількість якої залежить від вмісту КМЦ у розчині та кількості мінералізованої залишкової води в породі. Утворена таким чином речовина є нерозчинною у воді, нафті, ацетоні, етиловому спирті, лугах та у 15% соляній кислоті.

Для підтвердження викладеного вище наведемо дані по свердловині № 8-Луква. В цій свердловині добавка до бурового розчину хімреагенту УЩР призвела до зміни величини електричного опору фільтрату від 0,8 до 0,3 Ом м. При цьому уявний електричний опір (ρ_v), замірваний малими зондами (0,45 м та 1,05 м) зменшився у 30 разів порівняно із значеннями ρ_v , заміряного великими зондами (2,0–8,0 м).

Наявність у колекторах зони проникнення суттєво впливає на величину вимірюваного питомого електричного опору незайманої частини пласта. За результатами досліджень, проведеними В.І.Грицишиним та іншими дослідниками [6], видно, що параметри зони проникнення та опір незайманої частини пласта пов'язані між собою петрофізичними взаємозв'язками. Зумовлено це зміною властивостей промивної рідини при обробці її різними хімреагентами. Як видно із результатів досліджень свердловин, в яких використовувався буровий розчин із значною кількістю добавок різних хімреагентів, покази зондів різних розмірів суттєво відрізняються за виміряною величиною електричного опору у період формування зони проникнення.

Аналіз впливу хімреагентів на покази методу бокового каротажу засвідчив, що наявність останніх у фільтраті промивної рідини не позначається на результатах інтерпретації. В той час, як криві індукційного каротажа значною мірою відображають форму кривої БК, результати їх інтерпретації тісно пов'язані із концентрацією солей у розчині та процентним вмістом добавок хімреагентів. Збільшення концентрації солей у розчині знижує інформативність методу індукційного каротажу. Особливо це досить вагомим при великих значеннях співвідношення питомого опору породи до питомого опору бурового розчину (ρ_p/ρ_c). Для невеликих значень ρ_p/ρ_c при повторних замірах напроти пластів високого електричного опору розходження у показах незначні. Результати інтерпретації даних індукційного каротажу свідчать, що наявність у свердловині високоелектропровідної промивної рідини ($\rho_c < 0,1$ Ом·м) знижує ефективність використання цього методу у високоомних геологічних розрізах.

Слід зазначити, що покази великих зондів залишалися стабільними при дослідженнях порід-колекторів, які характеризувалися за даними лабораторних досліджень коефіцієнтом пористості в межах 10–19%. У таких породах спостерігалось понижене проникнення фільтрату у пласт та незначна зона проникнення. Проникнення фільтратів бурових розчинів з добавками хімреагентів у високопористі породи-колектори за даними лабораторних досліджень керну також не призводить до значної зміни знаку потенціалів самочинної поляризації (СП). Питомий електричний опір, виміряний стандартними потенціал- та градієнт зондами напроти таких пластів, буде визначатися характером насичуючого їх флюїду та його мінералізацією. Експериментальні дані засвідчили, що обробка малоглинистих, добре проникних взірців гірських порід описаними вище хімреагентами призводить до збільшення параметра насичення (коефіцієнта збільшення опору) при тому ж самому співвідношенні вуглеводнів і води у породі. Це явище найбільш яскраво проявляється у випадку наявності в породах високомінералізованої пластової води. Дія хімреагентів на зміну параметра насичення також відрізняється для хромпіку, КССБ і КМЦ: найбільш сильно збільшує параметр насичення обробка породи хімреагентом КМЦ, найменше – хромпіком.

Збільшення параметра насичення при обробці породи хімреагентами на наш погляд можливо пояснити двома причинами:

а) за рахунок взаємодії хімреагентів з мінеральним скелетом породи відбувається гідрофобізація порових каналів;

б) за рахунок збільшення звивистості порових струмопровідних каналів внаслідок випадання твердого струмонепровідного осаду.

В реальних умовах присвердловинної зони пласта, найбільш імовірно, ці два явища відбуваються одночасно, при чому, закупорка порового простору порід нерозчинним осадом при наявності високомінералізованих пластових вод буде переважати.

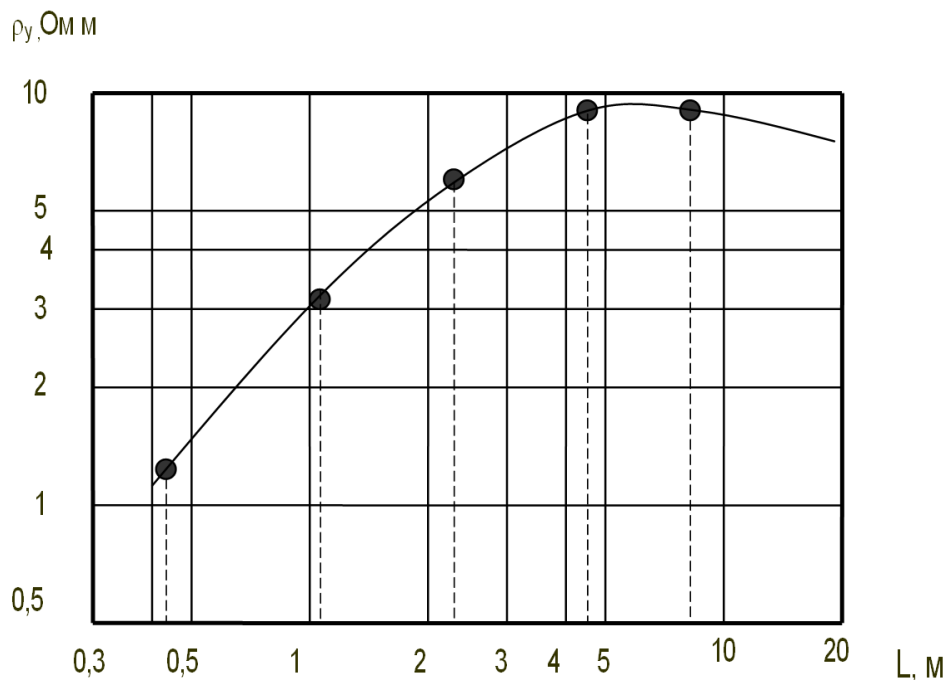


Рисунок 2 — Фактична крива БКЗ для низькоомного пласта-колектора (св. 28 – Кобзівська; інтервал 3753,6-3759,0 м; $\rho_{\text{п}} = 7,0$ Ом м; $\rho_{\text{зн}} = 2,0$ Ом м; діаметр зони проникнення 1 м)

Аналіз та узагальнення результатів геолого-геофізичних досліджень низькоомних порід-колекторів засвідчили, що геоелектрична модель пласта достатньо складна і складається із чотирьох шарів, а саме: свердловина, зона проникнення, облямовуюча зона та незаймана частина пласта. Зона проникнення у цьому випадку відіграє суттєву роль у формуванні електричних параметрів, які реєструються методами БКЗ, БК і ІК. Фактичні криві БКЗ, приклад однієї з яких зображено на рис. 2, побудовано за результатами досліджень таких порід-колекторів, які характеризують підвищений тип проникнення фільтрату бурового розчину в пласт і невисокі значення параметрів зони проникнення.

У наведеному прикладі питомий електричний опір, відповідно, незайманої частини пласта і зони проникнення у свердловині 28-Кобзівська (інтервал 3753,3 – 3759,0 м) дорівнює 7 Ом·м і 2 Ом·м.

Таким чином, невідповідність зареєстрованих питомих електричних опорів методами електрометрії електричним параметрам продуктивних порід-колекторів зумовлена, в основному, складною структурою геоелектричної моделі пласта, високим значенням глинистості, типом хімреагентів, які додають у буровий розчин, низьким електричним опором зони проникнення та високим вмістом зв'язаної води.

Література

- 1 Дахнов В.Н. Геофизические методы определения коллекторских свойств и нефтегазо-насыщения горных пород / 2-е изд. перераб. – М.: Недра, 1982. – 448 с.
- 2 Латышова М.Г., Вендельштейн Б.Ю., Тузов В.П. Обработка и интерпретация материалов геофизических исследований скважин / 2-е изд. – М.: Недра, 1990. – 270 с.
- 3 Авчян Г.М., Матвиенко А.А., Стефанкевич З.Б. Петрофизика осадочных пород в глубинных условиях. – М.: Недра, 1979. – 214 с.
- 4 Ильин В.М., Сонич В.П., Черников О.А. Влияние температуры на пористость и удельное электрическое сопротивление водонасыщенных полимиктовых коллекторов // Физические свойства коллекторов нефти и газа при высоких давлениях и температурах. – М.: Наука, 1979. – С. 49–52.
- 5 Кобранова В.Н. Петрофизика. – М.: Недра, 1986. – 392 с.
- 6 Грицишин В.И., Гаранин А.А. Влияние химических реагентов на фильтрационно-емкостные свойства гранулярных коллекторов // Коллекторские свойства пород на больших глубинах. – М.: Наука, 1985. – С. 162–167.