

© С.Ф. Поверенний
Р.А. Діц
М.В. Боровик
О.В. Піддубна
УкрНДІгаз

Пісковики з аномально низькою буримістю

УДК 622.24.051

У статті детально розглянуто склад, будову, властивості та генезис пісковиків із аномально низькою буримістю, які зустрічаються під час буріння відкладень нижнього карбону Котелевсько-Березівської зони ДДЗ. Сформульовано найбільш ймовірні причини зменшення швидкостей проходки. Накреслено напрями подальших досліджень для вирішення проблеми прискорення буріння під час проходження «плит» – зон аномально низької буримості.

Ключові слова: ускладнення під час буріння, аномально низька буримість, фізичні властивості пісковиків, Котелівсько-Березівська зона.

В статье детально рассмотрены состав, строение, свойства и генезис песчаников с аномально низкой буримостью, встреченных при разбуривании отложений нижнего карбона Котелевско-Березовской зоны ДДВ. Сформулированы наиболее вероятные причины снижения скоростей проходки. Намечены направления дальнейших исследований для разрешения проблемы оптимизации процессов бурения при прохождении «плит» – зон с аномально низкой буримостью.

Ключевые слова: осложнение при бурении, аномально низкая буримость, физические свойства песчаников, Котелевско-Березовская зона.

Composition, structure, features and genesis of sandstones with anomalous low drilling properties is examined in the article. Such rocks are encountered during Kotelva-Berezivka rampart of DDD Low Carboniferous deposits boring through. Excavation speed lowering most probable causes are formulated. Directions of further explorations for drilling through «plates» – zones with anomalous low drilling properties processes optimization problem solving are outlined.

Key words: complication during, drilling, anomalous low drilling properties, sandstones physical properties, Koteleva-Berezivka rampart.

У зв'язку з різким зниженням швидкостей проходки в окремих горизонтах нижнього карбону (так званих плитах) і необхідністю оптимізації процесів буріння під час їх проходження загострився інтерес до мінералого-петрографічного складу, будови та генезису цих «плит».

Пласти з аномально низькою буримістю (0,005–0,5 м/добу) у Дніпровсько-Донецькій западині знаходяться на великих глибинах і звичайно представлені кварцовими пісковиками. Найчастіше вони зустрічаються у межах Котелевсько-Березівського валу, на Котелевському та Березівському газоконденсатних родовищах (ГКР). Стратиграфічно ці пласти належать до відкладень серпухівського і візейського ярусів нижнього карбону, звичайно складають продуктивні горизонти і виступають одночасно продуктивними колекторами і пластами з аномальною буримістю.

У випадках розбурювання цих пісковиків за допомогою алмазних коронок існує можливість досить детально вивчити їх склад і будову. Оскільки дослідження, необхідні для вивчення механічних властивостей, ще тільки почалися, у нашій роботі підсумовуються переважно результати досліджень, які проводилися з метою вивчення цих пісковиків як колекторів, що вже дає змогу значною мірою охарактеризувати цю породу.

Для досліджень використано керн св. 200 і 203 Березівського родовища, відібраний із відкладів горизонту С-5 сер-

пухівського ярусу нижнього карбону, та керн св. 112, 114 і 115 Котелевського родовища, відібраний із відкладів горизонту В-25-26 візейського ярусу нижнього карбону.

У відкладах верхнього серпухова Березівського ГКР практично завжди інтервали «плит» входять до складу інтервалів залягання горизонту С-5. Цей горизонт характеризується як основний продуктивний горизонт серпухівського ярусу Котелевсько-Березівської зони, найбільш витриманий по площі і товщині та утворений чергуванням пластів пісковиків, алевролітів та аргілітів із нечисленними прошарками глинистих вапняків і вугілля. Серед пісковиків відмічають кварцові та олігоміктові різновиди з глинистим, карбонатно-глинистим та регенераційно-кварцовим цементом. Для кварцових пісковиків характерним є безцементне зчленування зерен [1]. Піщані пласти мають потужність до 45–50 м і досить різноманітний гранулометричний склад, який коливається від дрібно- до грубозернистого, гравелістого. Відмічається тенденція збільшення зернистості та карбонатності від покрівлі до підшви горизонту [1, 2].

Оскільки перехід на алмазне колонкове буріння і відбір керна був обумовлений саме аномально низькою буримістю і мотивувався бажанням прискорити буріння, є впевненість, що цікаві з цієї точки зору породи знаходяться саме в цьому керні і у першому наближенні інтервал відбору керну є

Таблиця 1

Колекторські та фізичні властивості пісковиків горизонтів С-5 та В-25-26

Горизонт	Пористість, %	Газопроникність, мд	Щільність об'ємна, г/см ³	Залишкова вода, %	Карбонатність, %
С-5	3,7–16,1 12,4 (85)	1,08–608,5 110,2 (85)	2,18–2,56 2,33 (93)	11,1–26,9 16,5 (12)	0,4–20,1 2,8 (69)
В-25-26	3,8–21,9 10,3 (49)	0,15–192,2 29,4 (49)	2,01–2,65 2,42 (97)	6,2–12,8 8,4 (6)	0–9,3 1,4 (49)

Таблиця 2

Значення відкритої пористості й об'ємної щільності залежно від розміру зерен пісковиків горизонту С-5

Зернистість	Середні значення		Максимальні значення		Мінімальні значення	
	пористість, %	щільність, г/см ³	пористість, %	щільність, г/см ³	пористість, %	щільність, г/см ³
Дрібнозернисті	11,9	2,31	15,7	2,56	3,5	2,18
Середньо- та крупнозернисті	12,8	2,34	16,1	2,52	8,2	2,20

інтервалом залягання «плити». Чим же представлений відібраний керн?

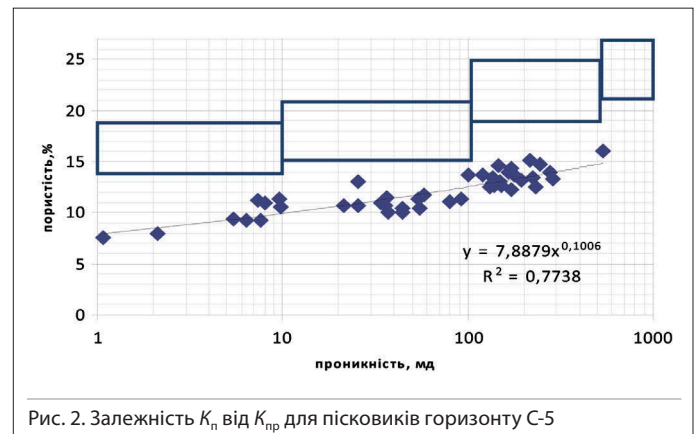
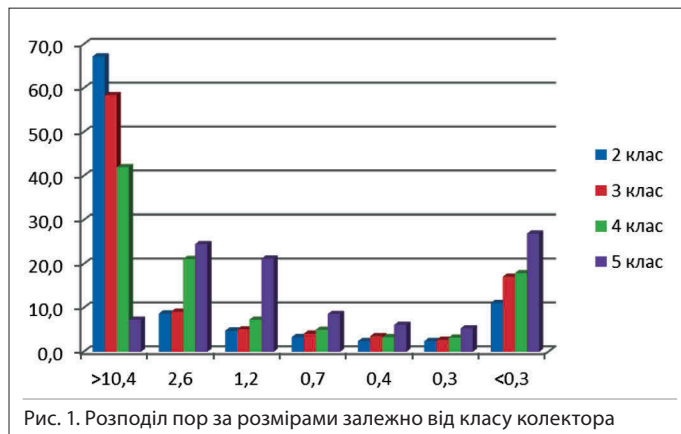
У керні обох свердловин домінують пісковики. Прошарки алевролітів та аргілітів мають невелику потужність і за властивостями навряд чи можуть обумовити аномально низьку буримість. За складом кластичної частини пісковики мінералогічно зрілі, мономіктові, кварцові, іноді до олігоміктових, з незначною домішкою польових шпатів (плагіоклаз та калішпат), уламків порід (переважно кварцити і кремені), мусковіту. Цементи порові, утворені регенераційним кварцом у поєднанні з безцементним зчленуванням зерен по конформних та інкорпораційних контактах, каолінітом та доломітом у різних співвідношеннях. З точки зору утворення жорсткого скелету породи провідна роль належить регенераційному кварцу у поєднанні з каолінітовим цементом, кількість якого іноді сягає 15 %, розповсюджений нерівномірно, несущільний, плямистий. Каолініт добре розкristалізований, переважно аутигенний, частково утворений за рахунок каолінізації польових шпатів, а частково – кристалізації у кислому середовищі продуктивного горизонту, на користь чого свідчать виділення каолініту по деяких тріщинах. Доломітовий цемент (звичайно 2–3 %) також має підлегли значення, він точковий, дрібно плямистий і лише в окремих прошарках незначної потужності (де його вміст

сягає 20,1 %) стає основним цементуючим матеріалом. Варіації гранулометричного складу, текстурні (коса шаруватість) та деякі інші особливості (наприклад, залишки деревини) дають змогу віднести пісковики «плит» до відкладів дельтового комплексу, де відклади алювію з часом змінювалися на відклади авандельта і мілководного узбережжя.

Колекторські властивості пісковиків різні, але в цілому досить високі (табл. 1, де в чисельнику наведено значення параметра від – до, а в знаменнику – середнє значення і кількість визначень).

Усереднені порометричні діаграми по класах колекторів представлено на рис. 1, який характеризує також зміну розподілу пор за розміром залежно від класу колектора. Медіанні діаметри пор, визначені методом напівпроникної мембрани, сягають 21,8 мкм.

Залежність пористості від проникності показано на рис. 2, там же у вигляді прямокутників виділено області значень пористості і проникності, характерні для порових колекторів, згідно з оціночною класифікацією І.А. Мухаринської [3]. На рисунку добре помітно, що вся сукупність фактичних значень, як і апроксимуюча їх лінія залежності, проходять виразно нижче цих областей, що дає можливість охарактеризувати цей колектор як тріщинно-поровий, для якого типовою є більша проникність за рівної пористості.



Механічні властивості пісковиків горизонту С-5 характеризуються тимчасовим опором за одновісного стиснення, який для дрібнозернистих зразків змінюється від 942 до 1120 кг/см² і у середньому становить 1050 кг/см² за трьома зразками. Для порівняння: межа міцності дрібнозернистого пісковика з суттєво глинистим цементом (відібраного в інтервалі 3973–3981 м у св. 108 Західно-Старовірівського ГКР) становить 578 кг/см². Межа міцності граніто-гнейсів фундаменту – 243 і 503 кг/см² (інтервали 2836–2841 і 3971–3977 м, відповідно св. 3 Євгеніївського і св. 3 Ульяновського родовищ). Низька міцність останніх (порівняно з характерними для цих порід 2000–2500 кг/см²) обумовлена присутністю в них прихованою тріщинуватістю, за якою і руйнується порода.

Серед пісковиків «плит» можна очікувати, що дрібнозернисті різновиди більш щільні і міцні, ніж середньо- і крупнозернисті. Як видно з табл. 2, така різниця є, але не дуже значна. Значення параметрів близькі, практично в межах похибки аналізів, за винятком мінімальної пористості. Остання обставина вказує на те, що дрібнозернисті пісковики бувають більш щільними і, ймовірно, більш міцними.

Літофізичні властивості горизонту В-25-26 досить детально висвітлені у [4], звідки видно, що мінералогія пісковиків обох горизонтів практично однакова. Генетично пісковики горизонту В-25-26, як і пісковики горизонту С-5, теж можна віднести до відкладів алювіально-дельтового комплексу. Вони були утворені в умовах прибережно-морської зони, що періодично змінювались умовами прибережної заболоченої алювіальної рівнини. На тлі регіонально розвинутого прибережно-морського карбонатного осадо накопичення (характерного для нижнього карбону) існували ділянки, де воно періодично заглушувалось зносом алювіального уламкового матеріалу з утворенням авандельт [5].

Порівняння фізичних властивостей пісковиків обох горизонтів наведено у табл. 1, яка свідчить, що горизонт В-25-26, що залягає глибше на тисячу і більше метрів, має гірші середні значення пористості і проникності, але максимальні значення пористості навіть більші, ніж у С-5. Трохи менша карбонатність як середніх, так і максимальних значень відповідає меншій стійкості карбонатів на великих глибинах. Пісковики більш щільні, менше мінімальне значення об'ємної щільності обумовлене вуглистом матеріалом. Максимальні значення медіанних діаметрів пор практично однакові. Цікаво те, що, як свідчить рис. 3, у пісковики горизонту В-25-26 деякі зразки потрапляють у поля порових колекторів, тобто за колекторськими властивостями ведуть себе як поровий колектор.

Щодо генезису пористості пісковиків «плит» Котелевсько-Березівської зони, то існує дві протилежні точки зору. Перша зводиться до того, що високі емнісно-фільтраційні властивості цих пісковиків є реліктовими, обумовленими первинними фаціальними особливостями порід [6], друга – що ці властивості вторинні, обумовлені розчиненням карбонатного цементу та утворенням мікротріщинуватості [1]. Питання про первинність чи вторинність складне і неоднозначного вирішення поки не має. Найбільш ймовірним є те, що на емнісно-фільтраційні властивості вплинули як первинні, так і вторинні чинники. Виявити серед

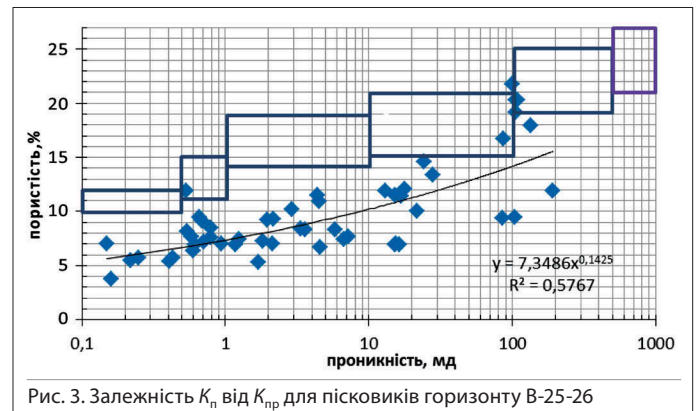


Рис. 3. Залежність K_n від K_{np} для пісковиків горизонту В-25-26

них більш вагомій на цьому етапі досліджень важко: порода пройшла довгий шлях катагенетичних перетворень, під час петрографічних досліджень можна знайти ознаки і перших, і других.

Відклади горизонту С-5 знаходяться у межах регіонального катагенетичного флюїдоопору (КФУ), який на цьому родовищі розташований приблизно в інтервалі 4560–4940 м, ступінь катагенетичних перетворень відповідає приблизно стадії МК₃ глибинного катагенезу. Відклади горизонту В-25-26 знаходяться нижче сучасного рівня КФУ, який на цьому родовищі розташований приблизно в інтервалі 4600–5100 м, у глибинній зоні розущільнення, ступінь катагенетичних перетворень відповідає приблизно стадії МК₄ глибинного катагенезу. Згідно з теорією глибинних зон розущільнення [7], у цій зоні утворюється вторинний колектор зі збільшенням пористості і виносом карбонату і кремнезему, що ніяк не може викликати утворення «плит» із аномально низькою буримістю. У пісковиках горизонту С-5 у процесі міграції вод термодегідратаційного гідрогеологічного ярусу можливе відкладення кремнезему з утворенням кварцового цементу, але у цьому разі мікроскопічні дослідження вказують, скоріше, на утворення цементу за принципом Рікке, тобто за рахунок розчинення під тиском із одночасною кристалізацією без привнесення кремнезему. В обох випадках немає і ознак масового переміщення карбонатного матеріалу. Таким чином, не існує однозначних доказів зв'язку утворення «плит» з утворенням КФУ. Зважаючи на локальне розповсюдження «плит», скоріше, тут відіграють роль місцеві фактори накладеного катагенезу, пов'язані з гідрогеохімічною активністю тектонічних порушень Котелевсько-Березівської зони [1].

Подібні пісковики, що змінювались від дрібно- до крупно-губозернистих, місцями гравелистих, зустрічались на Степовому родовищі в інтервалі 4889–4906,85 м. На менших глибинах подібні пісковики зустрічались у межах північної прибортової зони на Скворцівському, Юліївському, Островецькому родовищах, Шевченківській площі, де серпухівські і візейські горизонти залягають на глибинах 2800–4500 м. На відміну від пісковиків Котелевського і Березівського родовищ, вони, звичайно, мають меншу пористість, більший вміст алевроито-глинистих про шарків, характеризуються тонкою і дрібнозернистістю, перевагою полого-хвилясто-шаруватих текстур, які вказують на

утворення в умовах зони прибережного мілководдя переважно під дією хвиль. Іноді вони мають дуже високі колекторські властивості, інколи пористість становить 1–3 %. З глибиною у подібних пісковиків відмічається тенденція до ущільнення, але виражена вона у цілому слабше, ніж у пісковиків із глинистим цементом. Наскільки відомо, пісковики згаданих родовищ не викликали проблем під час розбурювання.

Щодо ролі пісковиків «плит» як чинника аномально низької швидкості буріння, то тут можна зазначити таке. По-перше: у лабораторних умовах під час виготовлення зразків із породи висвердлюють кам'яний циліндр за допомогою алмазного кільцевого свердла, що у першому наближенні моделює процес розбурювання порід у свердловині. Виготовлення циліндрів із пісковиків розглянутих «плит» не викликало ніяких ускладнень, вони оброблялися навіть краще, ніж породи з суттєво глинистим цементом, за рахунок незначної кількості глинистого матеріалу, який обумовлює схильність до утворення «сальників», і набагато краще граніто-гнейсів фундаменту.

По-друге: у св. 200 Березівського родовища в інтервалі 4582–4589 м (тобто нижче «плити») залягає пласт крупно-середньозернистого пісковика. Як макроскопічно, так і за шліфом пісковик ідентичний пісковика «плити», головною відмінністю якого є помітно вищі колекторські властивості. Пласт такого ж кварцового середньо-дрібнозернистого пісковика залягає в інтервалі 4535–4540 м (тобто вище «плити»). Якщо у першому випадку пісковик відрізняється від «плити» кращими колекторськими властивостями, то у другому його колекторські властивості ідентичні «плитним». Обидва пісковики не викликали проблем під час розбурювання.

Аналогічні пісковики було зустрінuto у св. 201 Котелевського родовища в інтервалі 5826–5835 м (В-23) та у св. 200 Котелевській в інтервалі 5570–5576 м. Вони також не потрапили в інтервали «плит» [8]. Складається враження, що тільки мінералого-петрографічних та міцнісних особливостей порід замало для пояснення аномально низької буримості.

Іншим відомим чинником зниження швидкостей проходки є підвищення диференційного тиску під час розбурювання продуктивних горизонтів із дуже зниженим пластивим тиском унаслідок виснаження покладів. На користь дії цього чинника свідчить та обставина, що у багатьох випадках ті ж пласти, але з пластивим тиском, близьким до початкового, розбурювались без помітних ускладнень. Найбільш сильним вплив цього фактора слід очікувати якраз під час розбурювання порід із високими колекторськими властивостями, високою проникністю, тобто порід продуктивних горизонтів. Суперечить цьому те, що усі «плити» (як зустрінуті у відкладах нижнього карбону Котелевсько-Березівської зони, так і відомі з літератури) складені залягаючими на великих глибинах породами певного літологічного типу; розбурювання виснажених горизонтів із колекторами іншого типу не сприймається, як розбурювання «плити».

Висновки

Видається логічним пояснювати зменшення швидкості проходки до аномально низьких значень сукупною

дією обох чинників, тобто виникненням високого диференціального тиску під час проходження пласта описаного літологу, характерного для нижнього карбону. У такому разі можна прогнозувати прояв «плиткових» властивостей порід у залягаючих на великих глибинах виснажених продуктивних горизонтах, складених дрібнозернистими кварцовими пісковиками нижньокам'яновугільного віку, безцементними або такими, що мають регенераційно-кварцові центени.

Питання потребує подальших досліджень. Зокрема, необхідно розширити комплекс лабораторних досліджень за рахунок визначення механічних властивостей згаданих порід (міцності, твердості, пластичності та абразивності) з метою підбору оптимального режиму буріння та типу бурового інструменту, виконати збір та систематизацію матеріалу відносно буримості порід цього типу в інших гірничогеологічних умовах та відносно впливу диференційного тиску на швидкість проходки під час розбурювання виснажених горизонтів із колекторами іншого літологічного типу.

Список літератури

1. **Кривошея В.А.** О нефтегазоносности глубокозалегающих зон отложенной Котелевско-Березовской зоны / В.А. Кривошея, Ю.В. Трухачёв, В.М. Тесленко-Пономаренко // Нефтяная и газовая промышленность. – 1986. – № 4. – С. 9–11.
2. **Лизанец А.В.** Результаты изучения керна горизонта Н-5 Березовского месторождения / А.В. Лизанец, С.В. Литвин, В.Ю. Рогожин // Нефтяная и газовая промышленность. – 1990. – № 2. – С. 20–21.
3. **Мухаринская И.А.** Оценочная классификация газонефтеносных коллекторов Украины // Развитие газовой промышленности Украинской ССР. – М.: Недра, 1969. – С. 117–118.
4. **Лагутин А.А.** Условия формирования и литофизические свойства пород-коллекторов глубокозалегающего продуктивного горизонта В-25-26 Котелевского месторождения по данным изучения керна / А.А. Лагутин, С.Ф. Поверенный // Питання розвитку газової промисловості України. Геологія газових і газоконденсатних родовищ; зб. наук. праць. – 2002. – Вип. XXX. – С. 69–75.
5. **Макогон В.В.** Літологія і палеогеографія візейських відкладів центральної частини Дніпровсько-Донецької западини (у зв'язку з нафтогазоносністю): дис. на здобуття наукового ступеня кандидата геологічних наук. – К, 2007.
6. **Баранова Т.А.** О природе пористости глубокозалегающих нижекаменноугольных терригенных коллекторов / Т.А. Баранова // Нефтяная и газовая промышленность. – 1989. – № 1. – С. 17–18.
7. **Зарицкий А.П.** Взаимосвязь вертикальной гидрогеологической зональности Днепровско-Донецкой впадины с зональностью основных элементов осадочного чехла / А.П. Зарицкий, И.И. Зиненко, А.С. Твердовидов, А.В. Лизанец // Геологический журнал. – 2005. – № 3. – С. 83–88.
8. **Діц Р.А.** Буріння інтервалів з аномально низькою буримістю / Р.А. Діц, М.В. Боровик, С.Ф. Поверенний, О.М. Фуглевич, В. Меша // Питання розвитку газової промисловості України. Геологія газових і газоконденсатних родовищ; зб. наук. праць. – 2013. – Вип. XXXXI. – С. 79–85.