

# Дослідження та методи аналізу

УДК 550.832

## ОСОБЛИВОСТІ ГЕОЛОГІЧНОЇ БУДОВИ НЕОГЕНОВИХ ВІДКЛАДІВ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ЯДЕРНО-ФІЗИЧНИХ МЕТОДІВ

Д.Д. Федоришин, О.М. Трубенко, С.Д. Федоришин

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 727180,  
e-mail: geotom@nung.edu.ua

*Розглядаються результати вивчення мінералогічної будови матриці порід-колекторів неогенових відкладів газових та газоконденсатних родовищ Більче-Волицької зони Передкарпатського прогину за результатами ядерно-фізичних методів. Наведено розподіл мінералів, що входить до складу матриці порід у гелветських, баденських та сарматських ярусів Більче-Волицької зони Передкарпатського прогину. Встановлено особливості будови відкладів геологічного розрізу неогенової системи, які негативно впливають на покази та результати геофізичних методів. Встановлено основні складові будови матриці порід, їхню структуру, а також розроблено ряд методик оперативної та заключної інтерпретації результатів комплексу ГДС з врахуванням мінерального складу та структури породи-колектора.*

Ключові слова: порода-колектор, мінеральний склад, питомий електричний опір, електропровідність, ефективний радіус пор, структура порового простору.

*Рассматриваются результаты изучения минералогического строения матрицы пород-коллекторов неогеновых отложений газовых и газоконденсатных месторождений Бильче-Волицкой зоны Предкарпатского прогиба по результатам ядерно-физических методов. Приведено распределение минералов, которые входят в состав матрицы пород гелветских, баденских и сарматских ярусах Бильче-Волицкой зоны Предкарпатского прогиба. Установлено особенности строения отложений геологического разреза неогеновой системы, которые негативно влияют на показания и результаты геофизических методов. Установлены основные составные строения матрицы пород, их структура, также разработано ряд методик оперативной и завершальной интерпретации результатов комплекса ГИС с учетом минерального состава и структуры породы-коллектора.*

Ключевые слова: порода-коллектор, минералогический состав, удельное электрическое сопротивление, электропроводимость, эффективный радиус пор, структура порового пространства.

*The results of studying the mineralogical organization of matrix in neogene sediments of gas and condensate fields, located at Bilche-Volytska zone of the Precarpathian bending due to the nuclear and physical methods have been considered. The minerals distribution, which are the part of matrix in Helvetic, Badenian and Sarmatian layers of Bilche-Volytska zone of the Precarpathian bending has been shown. The peculiarities of the geological section sediments structure of the neogene system have been defined, which have a negative effect on the results and data of the geophysical methods. The main constituents of the matrix structure have been identified. The methods of effective interpretation of results of well survey, taking into account the mineral composition and structure of a rock have been developed.*

Key words: reservoir rock, mineral composition, specific electric resistance, conductivity, effective pore radius, pore structure.

**Актуальність.** Основні газоконденсатні родовища, а відповідно поклади газу в Карпатській нафтогазоносній провінції сконцентровані у Більче-Волицькій зоні Передкарпатського крайового прогину. Особливості глибинної будови вище наведеної території полягають у тому, що відклади, які виповнюють геологічний розріз представлені широким спектром рифей-

ських, палеозойських, мезозойських та міоценових літологостратиграфічних комплексів. Гірські породи, що виповнюють перераховані геологічні комплекси відрізняються між собою як умовами осадконакопичення так і гідродинамічними та фільтраційно-емкісними характеристиками. Особливо це досить яскраво видно на прикладі геологічної будови розрізу неогене-

нової системи Летнянського, Вижомлянського та інших газових родовищ Крукенецької западини. Мінералогічна будова матриці порід-колекторів насичених вуглеводнями гельветських, баденських та сарматських ярусів вище вказаних родовищ, у більшості випадків, обумовлена умовами генезису їх утворення та приналежністю до тієї чи іншої генетичної групи. Так, наприклад "прості" породи, які представляють першу генетичну групу формувалися у відносно спокійній гідродинамічній обстановці відкритого моря, мають невелику міжзернову, вторинну пористість та незначну ефективну пористість. Сформовані в цей період дрібнозернисті пісковики з гідрослюдисто-глинистим цементом (св. №5-Летня, 1607,3 м) складаються із клиноподібних і напівзаокруглених уламків більшість з яких мають хвильове згасання, носять сліди стискування, що свідчить про їхній виніс із древніх метаморфізованих порід. Із мінералів у цих породах присутні циркон, мусковіт, гідрослюда розміром до 0,1 мм, дрібні уламки іліту. Поряд із цими породами відмічають гарні за фільтраційно-емісними параметрами колектори, які відрізняються від ущільнених пісковиків, співвідношенням уламкових матеріалів та складом цементу.

**Аналіз опублікованих праць.** Гірські породи, які виповнюють продуктивні гельветські, баденські та сарматські яруси характеризуються складною будовою матриці, що відображається на даних ГДС. Інтерпретація результатів радіоактивного каротажу значно ускладнюється при дослідженні таких складнобудованих колекторів. У зв'язку з цим основним напрямком підвищення ефективності досліджень пошуково-розвідувальних свердловин ядерно-фізичними методами є використання спектрометричних досліджень параметрів радіоактивних полів, впровадження багатозондових установок та встановлення петрофізичних параметрів керну, для врахування впливу неоднорідностей матриці породи на результати інтерпретації. Чимало дослідників в своїх роботах [1, 2, 3, 4, 5] обґрунтували можливість застосування методу спектрометрії гама-випромінювання для вивчення мінералогічної будови матриці порід-колекторів та літологічного розчленування геологічних розрізів свердловин. Однак, слід відзначити, що гамма-спектрометрія в нафтогазовій галузі ще не достатньо використовується, що відбивається на інформативності комплексу геофізичних методів, який сформований для вирішення геологічних задач, низка яких характеризується неоднозначно. У той же час, методи ядерної геофізики мають великі можливості щодо вивчення складу породи та їхньої мінералогічної будови. Природне гамма-випромінювання — це наслідок переходу атомного ядра в енергетично більш стійкий стан із вивільненням надлишкової енергії, яка супроводжується випромінюванням елементарних частинок ( $\alpha, \beta, \gamma$ ). У більшості випадків радіоактивність гірських порід обумовлена, головним чином, наявністю вище вказаних частинок, ви-

промінювачами яких є калій ( $K^{40}$ ), уран ( $U^{236}$ ) і торій ( $Th^{232}$ ), а також група елементів, продуктів їх розпаду. Враховуючи розповсюдженість радіоактивних ізотопів в літосфері, а також інтенсивність розпаду, можна констатувати, що найбільший вплив на загальну радіоактивність порід мають уран, торій, калій, рідше рубідій  $Rb^{87}$ , літій, стронцій. Інші радіоактивні елементи через незначне розповсюдження і малий період напіврозпаду характеризуються незначною сумарною енергією розпаду і не можуть відіграти суттєвої ролі у формуванні інтегральної радіоактивності порід.

**Мета статті.** Встановити особливості геологічної будови неогенових відкладів газових та газоконденсатних родовищ Більче-Волицької зони Передкарпатського прогину використовуючи результати ядерно-фізичних та радіоактивних методів.

**Методи дослідження.** Складна будова геологічних розрізів нафтогазових родовищ затруднює, а інколи робить неможливим використання результатів стандартного комплексу геофізичних методів для встановлення границь пластів, визначення їх ефективних товщин та емкісних і фільтраційних параметрів. В основному ускладнюється реєстрація параметрів фізичних полів та знижується ефективність методів ГДС при дослідженні свердловин із тонкошаруватою будовою розрізу та мінералогічною неоднорідністю порід. Такі об'єктивні труднощі висвітлили очевидну необхідність впровадження у виробництво нових більш інформативних методів, зокрема ядерно-магнітного каротажу, гамма-спектрометрії, імпульсного нейтрон-нейтронного каротажу та багатозондової акустики в доповнення до гамма-каротажу. Для розроблення способу розпізнавання колекторів були встановлені їх ознаки, які базувались на граничних значеннях геофізичних параметрів, у тому числі і за методами, які контролюють пористість (АК, НГК, БМК), а також з використанням даних ядерно-магнітного резонансу та гамма-спектрометрії. Проведені нами дослідження для оцінки розподілу радіоактивного ізотопу калію  $K^{40}$  в породах міоценових відкладів газових родовищ показали, що даний радіоактивний ізотоп в цілому розподілений достатньо рівномірно, і середній вміст його коливається в межах 2.2—3.4%. І тільки у випадку наявності такого мінералу, як глауконіт, концентрація  $K^{40}$  зростає. (рис. 1).

Таким чином, для порід-колекторів тонкошаруватих геологічних розрізів були встановлені такі геофізичні ознаки:

– відмінності показів питомого електричного опору породи в порівнянні із такими, як у глинах та у водонасичених  $\frac{\rho_n}{\rho_{вм}} < 1$  і газонасиче-

них пластах  $\frac{\rho_n}{\rho_{вм}} > 1$ ), де  $\rho_n$  – питомий електричний опір породи,  $\rho_{вм}$  – питомий електричний опір вміщаючих порід;

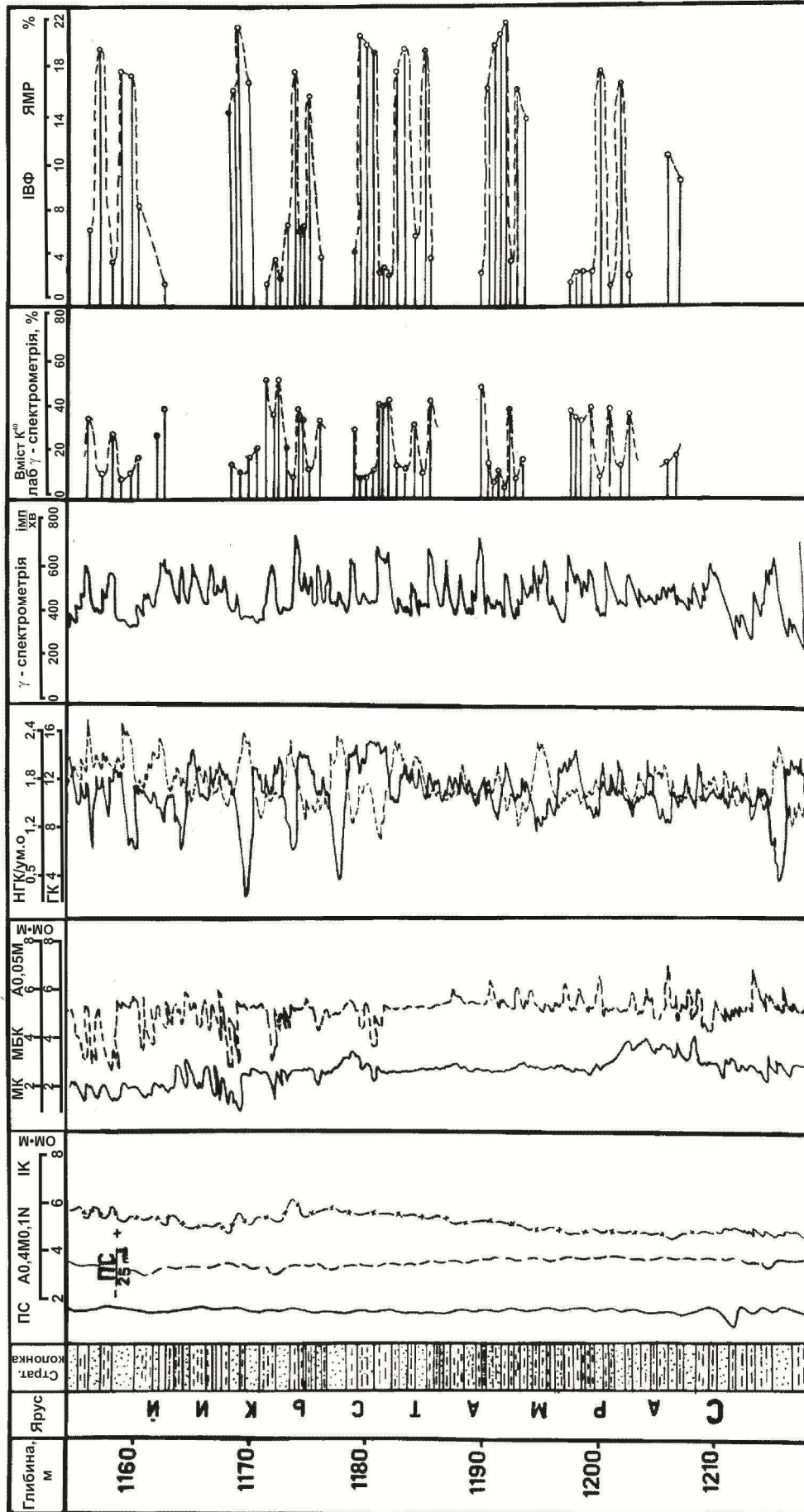


Рисунок 1 — Використання методів гамма-спектрометрії та ядерно-магнітного резонансу для літологічного розчленування тонкошаруватих неогенових відкладів Більче-Волицької зони Передкарпатського прогину

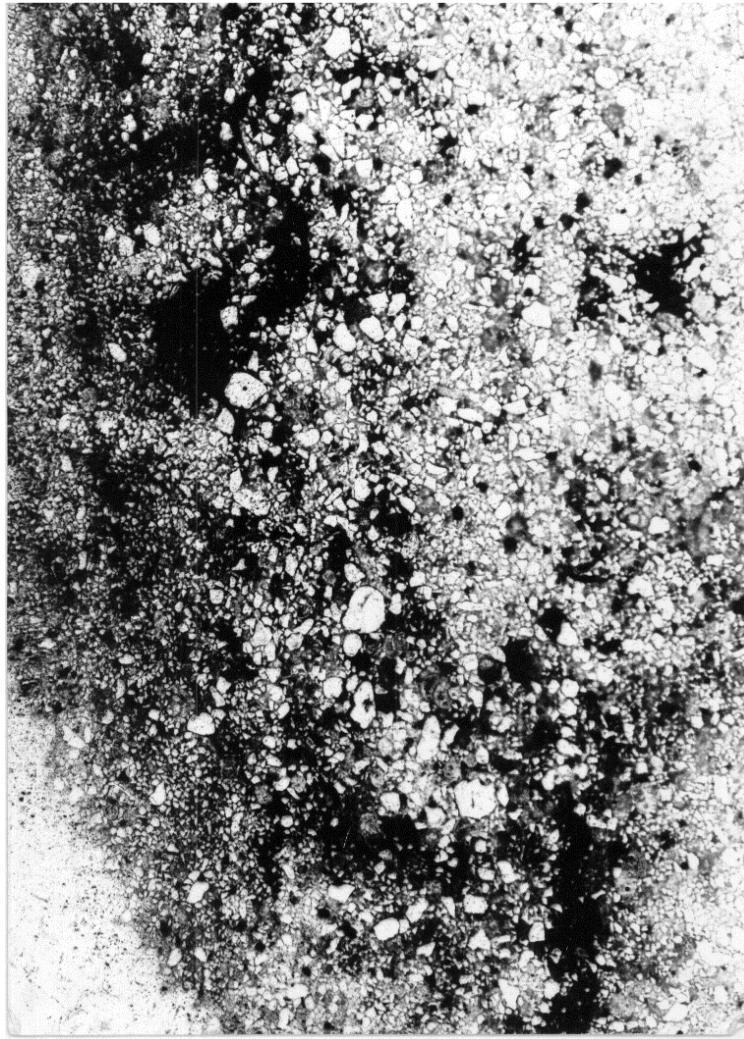


Рисунок 2 — Дрібнозернистий пісковик з хлорито-глауконітовим глинистим цементом

– від’ємні аномалії на кривих самочинної поляризації (ПС), за умови слабо мінералізованої промивальної рідини;

– зниження показів ГК на 1,5-2 мкР/год від показів вміщуючих порід;

– підвищення значення показів інтенсивності гамма поля на кривих нейтронного гамма-каротажу (НГК) у порівнянні з показами навпроти глин;

– підвищення значень інтервального часу пробігу повздовжньої хвилі за даними акустичного каротажу (АК);

– високі значення індексу вільного флюїду на кривих ядерно-магнітного каротажу (ЯМК);

– низькі значення параметра “А” за результатами гама-спектрометричного каротажу, де А – співвідношення суми вмісту урану і торію до калію;

– значення діаметру свердловини близьке до номінального і нижче, за даними кавернометрії.

Наявність перелічених вище ознак дозволяє однозначно виділити пласти-колектори, а інформація про час поздовжньої релаксації ( $\tau$ ) на кривих ЯМК визначає характер насичення породи-колектора.

Порівняно з мономінеральними пісковиками, породи-колектори такого типу характеризуються хлорито-глауконітовим та глинистим цементом. Із рисунку 2 видно, що в основній масі матриці породи домінують округлі та напівкруглі уламки часто примикаючі один до одного. Їхня кількість складає (42-55) % від маси породи. Із мінералів виділяють ілліт, гідрослюди, глауконіт, хлорит. Слід відмітити, що хлорити тісно зростаються з глауконітом, створюючи згустки неправильної форми, які визначають зелене забарвлення породи.

Поряд і всередині згустків спостерігаються включення піриту, чим може пояснюватися низький питомий електричний опір порід-колекторів насичених газом та конденсатом. Розподіл мінералів піриту і глауконіту нерівномірний, їхній вміст складає від 1 % до 6 % у різних ділянках матриці породи. Слід також відмітити, що кальцит у складі цементу матриці зернистий, добре розкристалізований. Розмір зерен змінюється у межах від 0,1 мм до 0,4 мм, а в окремих випадках досягає 1 мм, що обумовлює створення пойкилітової структури породи. В окремих місцях матриці зерна кварцу інтенсивно руйнуються кальцитом зокрема, на периферії і по окремих тріщинах. Пісковик із такою

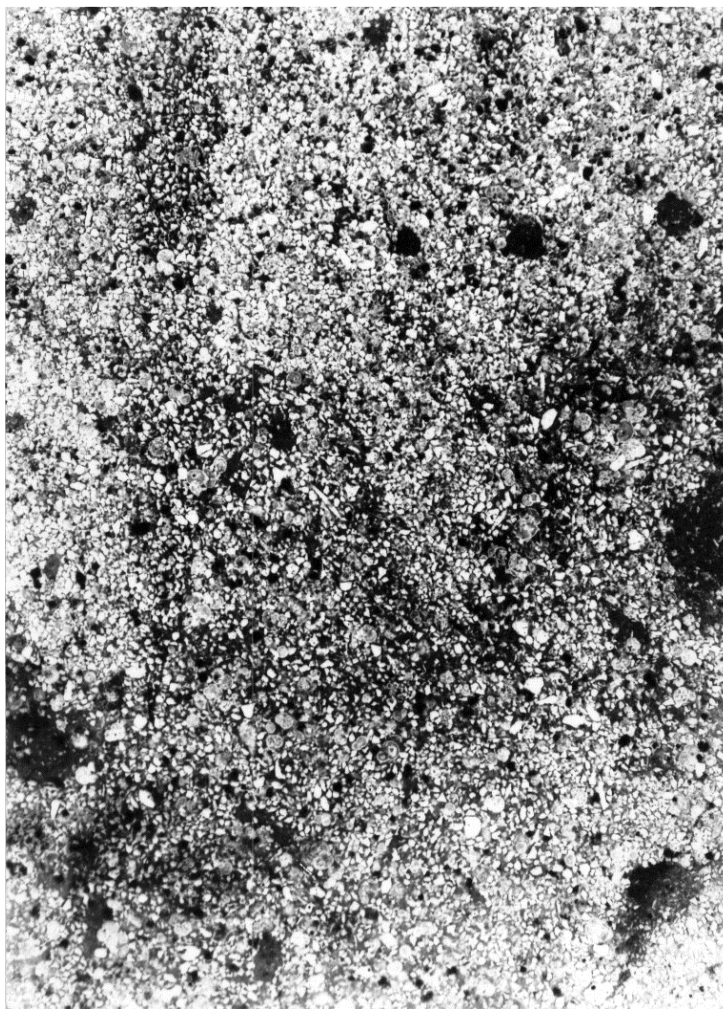


Рисунок 3 — Пісковик з кальцито-глинистим цементом і форамініферами

структурою є поганим колектором за рахунок перекристалізації кальциту і ущільнення зерен кварцу. Однак у такого типу породах можуть спостерігатися газонасичені ділянки із підвищеною пористістю, які утворились за рахунок перемішування уламків кварциту із різними уламками пісковиків та алевролітів. Наявність останнього, може вказувати на конседиментаційне розмивання мілини, гідродинамічну активність води та краще перемивання осадів.

У процесі дослідження структурної будови порід-колекторів неогенової системи також встановлено, що пісковики з хлорито-глауконітовим та хлорито-кальцитовим цементом (рис. 2) близькі за складом до алевритистих різновидностей порід-колекторів. Сортування уламків окремих літотипів у таких породах відбувається краще, однак у більшості випадків такого типу пісковик є поганим колектором. У той час, як пісковик із кальцито-глинистим цементом (рис. 3) характеризується хорошими колекторськими властивостями. Порода виповнена системою тріщин, має хорошу міжзернову пористість, яка змінюється у межах від 8 % до 27 %. У складі матриці такого типу пісковиків зустрічаються уламки циркону, альбіту, піриту та глауконіту. Рідко в породі спостерігаються незначні скупчення (0,6-1,5 %) яскраво зелено-

го хлориту, який також впливає на забарвлення породи. На показах геофізичних методів, зокрема радіоактивних, такі пісковики характеризуються підвищеною інтенсивністю гама поля ( $J_\gamma = 18-22$  мкр/год) за рахунок глауконіту та циркону, а на кривих електричних методів відмічаються пониженим значенням питомого електричного опору ( $\rho_n=1,0-1,7$  Омм), яке обумовлене наявністю таких мінералів, як пірит, халькопірит та глауконіт.

Враховуючи те, що потенційними породами-колекторами насиченими вуглеводнями у відкладах неогену є також алевроліти, нами досліджувалась їхня структура та мінералогічна будова, визначались петрофізичні параметри. Результати досліджень свідчать, що у більшості випадків цемент цієї породи є кварцево-глинистим і складається з добре відсортованих уламків кварцу, розмір яких змінюється в межах від 0,1 мм до 0,5 мм.

Із шліфа видно, що цемент локалізується в окремих порах і не завжди заповнює їх повністю. Біля 5 % великих міжзернових пор виповнені згустками кальциту та кварцу округлої, або амебовидної форми. Такий розподіл у породі мінералів, а також мінералогічний склад алевролітів, дозволяє зробити висновок про те, що вони формувались в прибереговій мілковод-



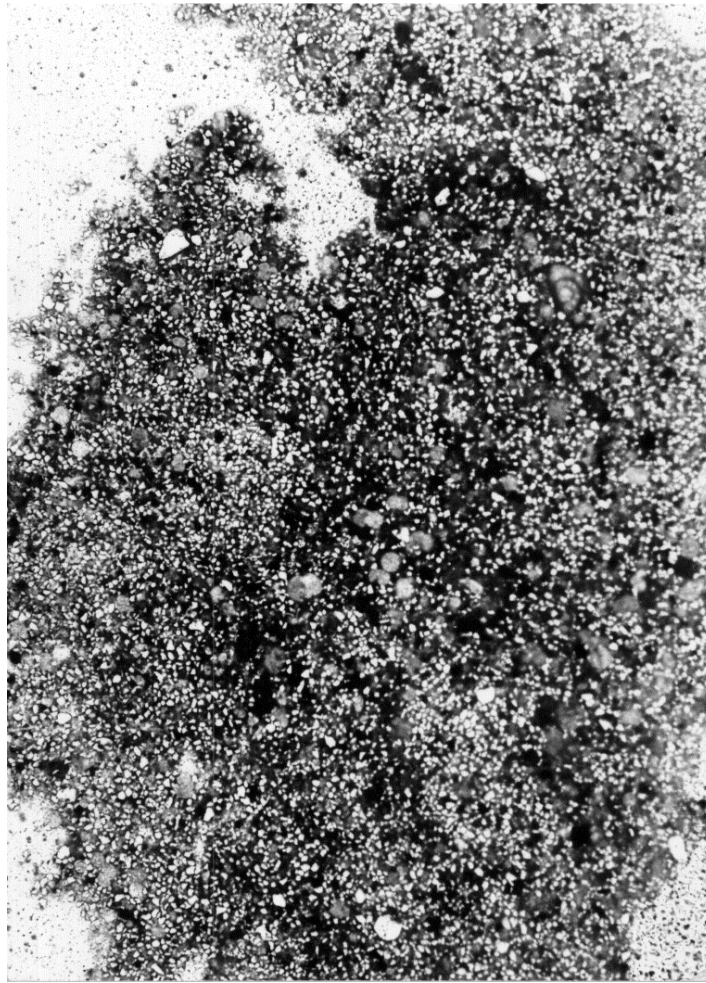


Рисунок 4 — Перемитий піщано-глинистий вапняк (св. 10-Летня, гл. 1585 м)

дній обстановці, яка обумовила їхні добрі колекторські властивості.

Серед уламків, що формують будову матриці алевролітів із покращеними колекторськими властивостями, зустрічаються розсіяні згустки мінералів глауконіту, піриту, ставроліту, циркону та поодинокі частинки бурштину. У глинистих згустках цементу породи зустрічаються форамініфери.

Такі особливості будови порід неогенової системи сарматського ярусу, що виповнюють геологічний розріз, який розкрили свердловини №№ 9, 15-Летня, дозволяють допустити, що формування їх відбувалось у підводній частині дельти древньої течії річки, що в подальшому було підтверджено результатами сейморозвідки та описано в монографії Заяць Х.Б. [6].

Окрім вище вказаних алевролітів у геологічному розрізі неогенової системи зустрічаються гравійно-піщанисті алевроліти з нерівномірно розподіленим кальцитовим та гравійно-гідролудисто-глинистим цементом із залишками фауни. Найбільш розповсюджені такого типу алевролітів у міоценових відкладах газових та газоконденсатних родовищах Крукенецької западини, на території Передкарпатського та Закарпатського прогінах. Відображення таких порід у геофізичних полях є неоднозначне, часом спотворене та екранує продук-

тивні породи-колектора. Деталі дослідження матриці породи показали, що основна маса породи складається із уламків кварцу. Розмір кварцевих уламків змінюється в межах від 0,9 мм до 2,7 мм та складає 9 % від маси породи, піщана фракція розміром (0,05-0,1) мм складає (10-15)%. Цемент породи базальтовий, заповнення пор відбувається частинками гідролудиди бурого кольору гідролудидою, близькою до монтморилоніту, яка обволікує уламки кварцу.

Основна маса цементу виповнена приховано кристалічною глинистою речовиною, в якій зустрічаються одиничні уламки циркону, сфену, вуглистих частинок і рідкісні дрібні включення аутогенних мінералів хлориту, глауконіту і піриту. (міоценові відклади глибина 1673,3 м, 1678,1 м, 1670,4 м відповідно у свердловинах 2-Летнянська, 3-Грушівська, 4-Гайська).

Вище вказані породи сформувались у прибереговій зоні палеорусел рік та лагунних умовах із незначним коливанням рівня води у слаболужному середовищі. Поряд з цими породами зустрічаються перемиті піщано-глинисті вапняки (зразок 1422-1585 м, св. №10-летнянська). За результатами петрографічних досліджень вони містять значну кількість уламків глинистого вапняка розміром від 0,5 мм до 0,1 мм мергелю, піщанистого вапняку, фауни і різних черепашок невизначеного типу (рис. 4).

## Література

У багатьох специфічних первинних органічних структурах такого типу спостерігається скупчення піриту від 1 % до 5 %. Дуже рідко в цементі зустрічаються одиничні відокремлення хлориту, навколо яких розміщується перекристалізований кальцит, що свідчить про епігенетичне накладання рудної мінералізації при слабкому метаморфізмі, на формування породи. Із вище вказаного видно, що порода сформувалась у умовах консидементаційного підняття в морських та лагунних умовах мілководного перемиву осаду.

У той час перемитий піщано-глинистий вапняк складається із перемитих уламків слабозернистого глинистого мергелю, вапняку і уламків різної фауни (мшанок брахіопод).

В окремих уламках фауни чітко виділяється частинки арагонітової голкоподібної структури. Цемент кальцитовий і менш глинистий ніж уламки. Порода сформувалась у приберегових умовах, або на консидементаційному піднятті, де активно перемивався свіжий осад. Пористість змінюється в межах від 8 % до 19 %.

**Висновки та завдання подальших досліджень.** Таким чином за результатами експериментальних досліджень, нами встановлено, що неогенові відклади сарматського ярусу виповнені високопористими, середньопористими та низькопористими породами –колекторами, які характеризуються значними літолого-фаціальними та петрофізичними відмінностями. Така особливість будови відкладів геологічного розрізу неогенової системи негативно впливає на покази та результати геофізичних методів, що затрудняє виділення продуктивних порід-колекторів за даними ГДС, а в окремих випадках до їхнього пропуску в процесі пошуково-розвідувальних робіт. Результати проведених геофізичних, петрофізичних, петрографічних досліджень вище вказаних порід, як у розрізі свердловин так і за даними експериментальних вимірювань на керновому матеріалі, дозволили встановити основні складові будови матриці порід, їхню структуру та розробити ряд методик оперативної та заключної інтерпретації даних комплексу ГДС з врахуванням мінерального складу та структури породи-колектора.

Завданням подальших досліджень є встановлення домінуючих характеристик геологічних розрізів Більче-Волицької зони Передкарпатського прогину та розроблення зведених петрофізичних моделей для такого типу порід-колекторів. Впровадження запропонованих петрофізичних моделей для оцінки підрахункових параметрів порід-колекторів складної будови та їх удосконалення.

1 Готтих Р.П. Радиоактивные элементы в нефтегазовой геологии / Р.П. Готтих. – М.: Недра, 1980. – 253 с..

2 Комлев Л. В. Основные этапы развития радиоактивных элементов / Л. В. Комлев // Сб. Радиоактивные элементы в горных породах. – Новосибирск, Наука, 1975. – С. 6-10.

3 Ларионов В.В. Радиометрия скважин / В.В. Ларионов. – М.: Недра, 1969. – 328 с.

4 Кадисов Е.М. Применение спектрометрического гамма-каротажа для решения задач нефтегазовой геологии на примере девонских отложений Ромашкинского месторождения Татарстана / Е.М. Кадисов, Г.А. Калмыков, Н.Л. Кашина и др. // Геология нефти и газа. – 1994. – №7. – С. 45 – 47.

5 Федоришин Д.Д. Прогнозирование нефтегазоносности глубокозалегающих коллекторов по данным геолого-геофизических исследований скважин / Д.Д. Федоришин, В.И. Грицишин, А.А. Гаранин // Нефтеобразование на больших глубинах. — М.: Недра, 1986. – С. 201 — 202.

6 Заяць Х.Б. Глибинна будова надр Західного регіону України на основі сейсмічних досліджень і напрямки пошукових робіт на нафту і газ / Х.Б. Заяць. – Львів: Центр Європи, – 2013. – 136 с.

*Стаття надійшла до редакційної колегії*  
16.02.17

*Рекомендована до друку*  
*професором Кузьменком Е.Д.*  
*(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)*  
*д-ром геол. наук Лазаруком Я.Г.*  
*(Інститут геології і геохімії горючих копалин*  
*НАН України, м. Київ)*