

УДК 552.12.08:539.217.1

**МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ЗАКРИТОЇ ПОРИСТОСТІ В УЛАМКОВИХ ЗЕРНАХ ПОРІД****<sup>1</sup>Антипович Я.В.**<sup>1</sup>*Институт геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України***МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАКРЫТОЙ ПОРИСТОСТИ В ОБЛОМОЧНЫХ  
ЗЕРНАХ ПОРОД****<sup>1</sup>Антипович Я.В.**<sup>1</sup>*Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины***METHODS FOR DETERMINING CLOSED POROSITY IN CLASTIC GRAINS OF ROCKS****<sup>1</sup>Antipovich Y.V.**<sup>1</sup>*Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine*

**Анотація.** В статті наведено результати дослідження закритої пористості в уламкових зернах газоносних пісковиків Донбасу. Зернову закриту пористість створюють різні типи газових включень в уламкових зернах порід. Вони представлені у вигляді ізольованих включень або у вигляді смужок Бьома, подальша трансформація яких утворює так звану «губчасту» структуру.

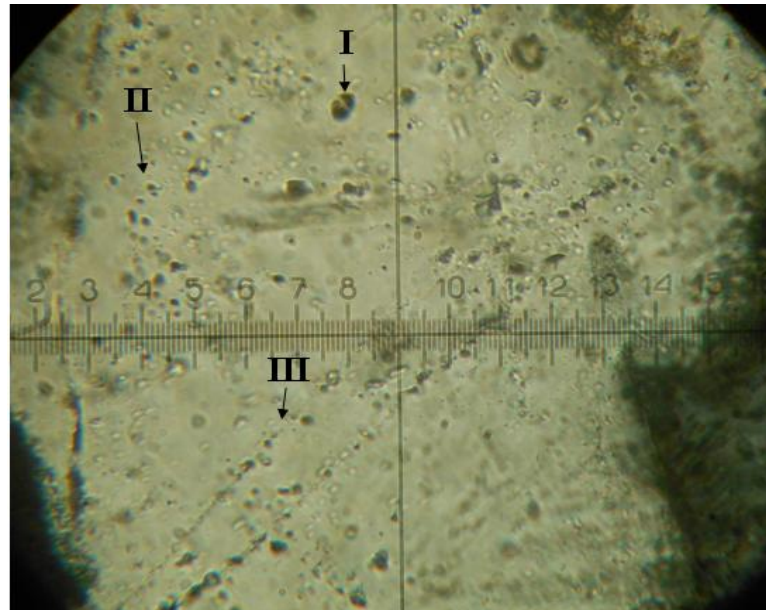
Мета даної роботи полягала у розробці методики визначення об'єму газових включень в уламкових зернах порід за допомогою оптичного мікроскопу.

Методика полягає в тому, що при дослідженні шліфів пісковиків оптичним мікроскопом при збільшенні від 1000 до 1200 крат з застосуванням імерсійної рідини, визначаються найбільш інформативні ділянки шліфа з різною кількістю газових включень. За допомогою об'єкт-мікрометру визначається розмір ділянки шліфа, що досліджується та розмір газових включень, які знаходяться на цій ділянці. Об'єм газового включення визначається через співвідношення площі цього включення до площі ділянки, що досліджується. Дослідивши необхідну кількість інформативних ділянок у кожному шліфі породи, за допомогою статистичної обробки даних, отримуємо середнє значення загального об'єму газових включень у прошарку породи у відсотках.

За допомогою методики визначення об'єму газових включень в уламкових зернах порід встановлено, що кварцові зерна газоносних пісковиків середньої підстадії катагенезу (пісковик  $l_3^1Sl_5$ , шахта ім. О.Г. Стаханова, Красноармійський район, Донецький вугільний басейн) містять у середньому 3,5 % газу в закритих мікропорах. Ця частка газу є суттєвою, з огляду на те, що загальна пористість цього пісковика в середньому складає 7 %. То ж за допомогою запропонованої методики можна встановити додаткову кількість газу який вміщується в мікропорах уламкових зерен порід. Це особливо важливо при прогнозуванні викидонебезпечності порід, оскільки газові включення знаходяться під великим тиском. То ж при додатковому навантаженні вуглепородного масиву вони можуть бути додатковим імпульсом газодинамічних проявів.

**Ключові слова:** газові включення, закрыта пористість, катагенез, мікропора, уламкові зерна.

Дослідження газоносних пісковиків Донецького басейну на мікрорівні, за допомогою оптичного мікроскопу, дозволило умовно виділити окремий тип закритої пористості – зерновий [1]. Загалом, зернову закриту пористість створюють різні типи газових включень в кварцових зернах пісковиків. Вони представлені у вигляді ізольованих включень або у вигляді смужок Бьома, подальша трансформація яких утворює так звану «губчасту» структуру (рис. 1). За складом газові включення переважно представлені метаном, вуглекислим газом, азотом [2, 3].



I – первинне включення; II – «губчаста» структура; III – смужки Бьома

Рисунок 1 - Шліф пісковика  $l_3^1Sl_5$  (кварцеве зерно), шх. ім. О.Г. Стаханова, глибина відбору проби 986 м, зб. 1200<sup>x</sup>

Перший тип включень в кварцових зернах пісковиків Донбасу - це первинні включення, які були утворені ще в материнських породах. Вони добре ідентифікуються при оптичному дослідженні, оскільки переважно є двофазними та складаються з рідинної та газової фаз. Загалом, в кварцових зернах пісковиків Донецького басейну їх кількість складає 1-2 % від загальної кількості всіх включень.

Окремим типом зернової закритої пористості необхідно виділити смужки Бьома. Це мікроструктурні деформації кварцових зерен, які декоровані газовими, рідше газорідними, включеннями. При дослідженні шліфів пісковиків вони добре ідентифікуються при бічному освітленні [4].

Вперше ці смужки були описані німецьким петрографом Августом Бьомом. При дослідженні альбітового та хлоритового гнейсу, слюдистого та кварцитового сланцю він вказує на численні смужки газових включень. Ці смужки були виявлені ним в різних мінералах: кварці, мусковіті, польовому шпаті. Він вказує на те, що у багатьох шліфах кварц пронизаний тріщинами та мікропорами, в яких знаходиться багато включень (А. Бьом, 1883).

Дослідження смужок Бьома в шліфах пісковиків Донецького басейну дозволило виділити їх в окремий тип мікроструктурних деформацій. Було доведено, що значна кількість смужок Бьома в кварцових зернах пісковиків Донбасу пов'язана з певною кількістю газу, який утворюється в процесі вуглефікації органічної речовини. Тобто включення смужок Бьома є вторинними утвореннями, які сформувалися в умовах трансформації вугленосного басейну. Найбільша кількість смужок Бьома зустрічається в кварцових зернах пісковиків середньої підстадії катагенезу. Зі зростанням ступеня перетворення порід відбувається подрібнення включень до найменшого розміру (В.А. Баранов, 1989). Саме подрібнення включень, що складають смужки Бьома, і формують в подальшому

«губчасту» структуру. Тобто «губчаста» структура є наступним кроком в перетворенні смужок Бьома.

Утворення «губчастої» структури зумовлене процесом подрібнення включень. Газові або флюїдні включення знаходяться під великим тиском, та «прагнуть» до енергетичної рівноваги. Найбільша кількість кварцових зерен з «губчастою» структурою характерна для пісковиків середньої підстадії катагенезу. При підвищенні ступеня катагенетичних перетворень (кінець середнього, початок пізнього катагенезу) включення подрібнюються до найменшого розміру та формують пори розміром в соті та тисячні долі мікрон. В подальшому, при зростанні тиску та температури, газ з включень мігрує в зони з меншим тиском, наприклад, на границі зерен або в міжзерновий простір [5].

Науковий та практичний інтерес дослідження зернової закритої пористості полягає у наступному. Пісковик, як основний колектор, накопичує газ у відкритих порах, але при підвищенні тиску на породу частина газу мігрує в мікрореформації кварцових зерен, після заліковування яких формується зернова закрита пористість. Можливий зворотній процес, коли при тектонічному розвантаженні частина газу буде мігрувати з мікрореформацій уламкових зерен порід в міжзерновий простір породи, у відкриті пори та тріщини. Це необхідно враховувати при прогнозуванні колекторських властивостей пісковиків. До того ж, газ у включеннях знаходиться під великим тиском, до 500 МПа (Г.Б. Наумов, 1980). Враховуючи додатковий тиск гірничого масиву, в якому знаходиться пісковик, газові включення можуть надавати додатковий імпульс для газодинамічних проявів.

Враховуючи вищенаведене, дослідження зернової закритої пористості є актуальною задачею, вирішення якої допоможе встановити нові закономірності та доповнити відому інформацію в цій галузі науки.

Одним з найголовніших питань є визначення об'ємів газових включень в уламкових зернах порід, оскільки це допоможе встановити додаткову кількість газу, яку вміщують закриті мікропори газоносних пісковиків Донбасу.

Загалом закрити пористість порід визначають як різницю між загальною та відкритою пористістю. Вважається, що вона має суттєво науковий інтерес, тому на практиці її залишають без уваги.

Недоліком визначення закритої пористості виключно розрахунковим методом, як різницю між загальною пористістю та відкритою є те, що ми отримуємо значення тільки того об'єму газу, який містить цемент породи. Тобто, та кількість газу, яка представлена у вигляді включень в уламкових зернах порід, враховується в меншій мірі, оскільки при визначенні загальної пористості методом подрібнення, не завжди породу подрібнюють до необхідного для розкриття цих включень розміру.

Мета даної роботи полягала в розробці методики визначення об'єму газових включень в уламкових зернах порід, за допомогою якої можна встановити додаткову кількість газу, який міститься в уламкових зернах порід.

Запропонована в цій роботі методика визначення об'єму газових включень в уламкових зернах порід проста при користуванні, економічно вигідна, оскільки

не потребує додаткових витрат. Для її реалізації використовуються стандартні петрографічні шліфи, які виготовляються в лабораторіях геологічних організацій з метою визначення різних показників у мінералах та породах.

Для визначення об'єму газових включень в кварцових зернах пісковиків використовуються стандартні шліфи, які досліджуються на мікроскопі типу ПОЛАМ Р-111. Дослідження проводиться при збільшенні 1000-1200 крат, з застосуванням об'єкт-мікрометра.

Суть методу полягає у тому, що об'єм газового включення визначається через співвідношення площі цього включення до площі ділянки, що досліджується, в уламковому зерні породи. Тож вибравши інформативну ділянку уламкового зерна необхідно прив'язати її до правильної геометричної форми. У більшості випадків це може бути квадратна чи прямокутна форма. Користуючись загальновідомими формулами для визначення площі квадрата чи прямокутника треба визначити площу ділянки, яка досліджується. Після того, як відома площа ділянки, необхідно підрахувати площу всіх включень, які знаходяться на цій ділянці. Об'єм газового включення діаметром менше ніж 0,4 мм без суттєвої похибки можна приймати рівним об'єму кулі (В.А. Калюжний, 1960). Але оскільки куля це об'ємна фігура, а шліф це тонкий зріз породи, тобто площина, ми приймаємо кожне включення як коло та через радіус цього кола підраховуємо площу включення. Зрештою, підраховуємо загальну площу включень на ділянці зерна, що досліджується. У відсотках, за формулою (1), визначаємо об'єм включень в уламковому зерні породи.

$$V_{\text{вкл.}} = (S_{\text{вкл.}}/S_{\text{д.д.}}) \times 100 \%;$$
 (1)

де  $V_{\text{вкл.}}$  – загальний об'єм газових включень;  $S_{\text{вкл.}}$  – загальна площа включень;  $S_{\text{д.д.}}$  – площа досліджуваної ділянки.

Дослідивши необхідну кількість інформативних ділянок у кожному з шліфів породи, за допомогою статистичної обробки даних, отримуємо середнє значення загального об'єму газових включень у прошарку породи.

Так, за допомогою запропонованої методики було встановлено, що кварцові зерна газоносних пісковиків середньої підстадії катагенезу (шахта ім. О.Г. Стаханова, Красноармійський район, Донецький вугільний басейн) містять у середньому 3,5 % газу в закритих мікропорах кварцових зерен. Враховуючи великий тиск, під яким знаходяться включення, отримані розрахунковим методом значення можуть бути вищими. Загальна пористість пісковика, що досліджувався, складає приблизно 7 %, але враховуючи кількість газу в уламкових зернах може досягати 10-10,5 %, оскільки при визначенні загальної пористості порід в лабораторних умовах не всі зерна подрібнюють до розміру, який би дозволив розкрити пори мікронного розміру.

Важливо зазначити, що об'єми закритої пористості, які ми отримуємо за допомогою запропонованої методики, не є абсолютними. Дослідження шліфів оптичним мікроскопом при збільшенні 1000-1200 крат дозволяють побачити включення з мінімальним розміром 0,3 мкм. Більш детальні дослідження шлі-

фів дозволили б встановити додаткові об'єми газу закритих мікропор.

**Висновок.** Дослідження закритої пористості пісковиків Донбасу повинно бути комплексним. При дослідженні цього показника треба враховувати не тільки той об'єм пористості, який знаходиться в цементі породи, а й зернову пористість, яку створюють різні типи газових включень в уламкових зернах порід. Якщо цементну закриту пористість можна визначати загальновідомим способом, як різницю між загальною та відкритою пористістю, то для визначення зернової закритої пористості необхідна додаткова методика. Запропонована методика визначення об'єму газових включень в уламкових зернах порід за допомогою оптичного методу проста при користуванні, економічно вигідна. Для її реалізації використовуються стандартні петрографічні шліфи, які досліджуються оптичним мікроскопом. За допомогою запропонованої методики можна визначати додаткові об'єми газу, який міститься в кварцових зернах пісковиків. Ці об'єми необхідно враховувати при дослідженні колекторських властивостей пісковиків та при прогнозуванні викиднебезпечності порід.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Антипович Я.В. Трансформация включений в кварцевых зернах песчаников / Современные проблемы теоретической, экспериментальной и прикладной минералогии. Юшкинские чтения – 2018 : Материалы минералогического семинара, 22-24 мая 2018 г. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2018. С. 176-177.
2. Баранов В.А. Методика и результаты изучения включений в обломочном кварце песчаников Донбасса / Науковий вісник Національного гірничого університету. Днепропетровск: НГУ, 2006. № 11. С. 43-47.
3. Tarantola A., Diamond L.W., Stünitz H., Thust A., Pec M. Modification of fluid inclusions in quartz by deviatoric stress. Influence of principal stresses on inclusion density and orientation / Contributions to Mineralogy and Petrology. 2012. Volume 164. Issue 3. pp. 537-550.
4. Спосіб застосування бокового освітлення в петрографії: пат. 125699 UA / Баранов В.А. № У 2017 11336, заявл. 20.11.2017; опубл. 25.05.2018, Бюл. № 10. 4 с.
5. Баранов В.А. Лаборатории исследования структурных изменений горных пород – 7 лет / Геотехническая механика. Днепропетровск: ИГТМ НАНУ, 2012. №100. С. 231-244.

#### REFERENCES

1. Antipovich, Ya.V. (2018), "Transformation of inclusions in quartz grains of sandstones", *Proceedings of mineralogical seminar "Modern problems of theoretical, experimental, and applied mineralogy"*, Syktyvkar, Komi Republic, Russia, 22–24 May 2018, pp. 176-177.
2. Baranov, V.A. (2006), "Method and results of inclusion studying in clastic quartz of sandstones of Donbass", *Naukovyi visnyk Natsionalnoho himychoho universytetu*, no.11, pp. 43-47.
3. Tarantola, A., Diamond, L.W., Stünitz, H., Thus, A. and Pec, M. (2012), "Modification of fluid inclusions in quartz by deviatoric stress. Influence of principal stresses on inclusion density and orientation", *Contributions to Mineralogy and Petrology*, vol.164, no.3, pp. 537-550.
4. Baranov, V.A., M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under NAS of Ukraine (2018), *Sposib zastosyvannya bokovogo osvittlenya v petrografii* [The method of side lighting in petrography], State Register of Patents of Ukraine, Kiev, UA, Pat. № 125699.
5. Baranov, V.A. (2012), "Laboratory of the study of structural changes in rocks - 7 years", *Geo-Technical Mechanics*, no. 100, pp. 231-234.

#### Про автора

**Антипович Яна Валентинівна**, магістр, молодший науковий співробітник, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України (ІГТМ НАНУ), Дніпро, Україна, Yana\_Antipovich@ukr.net.

#### About the author

**Antipovich Yana Valentinovna**, Master of Science (M.Sc.), Junior Researcher, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepr, Ukraine, Yana\_Antipovich@ukr.net.

**Аннотация.** В статье приведены результаты исследования закрытой пористости в обломочных зернах газоносных песчаников Донбасса. Зерновую закрытую пористость создают различные типы газовых включений в

обломочных зернах пород. Они представлены изолированными включениями или в виде полосок Бема, последующая трансформация которых создает так называемую «губчатую» структуру.

Цель данной работы заключается в разработке методики определения объема газовых включений в обломочных зернах пород с помощью оптического микроскопа.

Методика заключается в том, что при исследовании шлифов песчаников под оптическим микроскопом при увеличении от 1000 до 1200 крат с применением иммерсионной жидкости, выделяются наиболее информативные участки шлифа с разным количеством газовых включений. С помощью объект-микрометра определяется размер исследуемого участка шлифа и размер газовых включений, находящихся на этом участке. Объем газового включения определяется через соотношение площади этого включения к площади исследуемого участка шлифа. В результате исследования необходимого количества информативных участков в каждом шлифе породы, с помощью статистической обработки данных, получаем среднее значение общего объема газовых включений в образце породы в процентах.

С помощью методики определения объема газовых включений в обломочных зернах пород установлено, что кварцевые зерна газоносных песчаников средней подстадии катагенеза (песчаник I<sub>3</sub>SI<sub>5</sub>, шахта им. А.Г. Стаханова, Красноармейский район, Донецкий угольный бассейн) содержат в среднем 3,5% газа в закрытых микропорах. Этот объем газа является существенным, учитывая то, что общая пористость этого песчаника в среднем составляет 7%. Таким образом, с помощью предложенной методики можно установить дополнительные объемы газа который содержится в микропорах обломочных зерен пород. Это особенно важно при прогнозировании выбросоопасности пород, поскольку газовые включения в обломочных зернах пород находятся под большим давлением. При дополнительной нагрузке углепородного массива они могут выступать дополнительным импульсом газодинамических явлений.

**Ключевые слова:** газовые включения, закрытая пористость, катагенез, микропора, обломочные зерна.

**Annotation.** Results of the study of closed porosity in clastic grains of gas-bearing sandstones of the Donbass are presented. Grain closed porosity is created by various types of gas inclusions in clastic grains of rocks. They are mainly represented by isolated inclusions or in the form of Bohm strips, the subsequent transformation of which creates a so-called "spongy" structure.

The purpose of this work was to develop a method for determining volume of gas inclusions in clastic grains of rocks by using an optical microscope.

During the investigation of thin sections of sandstones by optical microscope at great magnification (from 1000 to 1200 times using an immersion liquid), the most informative area of thin sections with a different number of gas inclusions are determined. With the help of the object-micrometer, size of the investigated area of the thin section and size of gas inclusions in this area are determined. Volume of gas inclusion is determined through the ratio of the square of this inclusion to the square of the investigated area of the thin sections. By investigating a required number of informative areas in each thin section of the rock, and with the help of statistical processing of the data, we receive average value of total volume of gas inclusions in the rock sample in percent.

By using the method of determining volume of gas inclusions in clastic grains of rocks, it is established that quartz grains of gas-bearing sandstones of the middle sub-stage of catagenesis (sandstone I<sub>3</sub>SI<sub>5</sub>, A.G. Stakhanov Mine, Krasnoarmeyskiy district, Donetsk coal basin) contain on average 3,5 % of gas in closed micropores. This volume of gas is significant, considering that total porosity of this sandstone is 7 %. Thus, by using the proposed method, it is possible to determine additional volumes of gas containing in micropores of clastic grains of rocks. This is especially important during predicting the rock outburst hazard, since gas inclusions in clastic grains of rocks are under great pressure. With additional stress of the coal-bearing massif, they can act as an additional impulse of gas-dynamical phenomena.

**Keywords:** gas inclusions, closed porosity, catagenesis, micropore, clastic grains

*Стаття надійшла до редакції 18.09.2018*

*Рекомендовано до друку д-ром геол. наук Барановим В.А.*