

ІНСТИТУТ ГЕОТЕХНІЧНОЇ МЕХАНІКИ ІМ. М.С. ПОЛЯКОВА
НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ

ІНСТИТУТ ГЕОЛОГІЧНИХ НАУК
НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

АНТІПОВИЧ ЯНА ВАЛЕНТИНІВНА

УДК [622.357.1:539.217.1].002.23 (043.3)

ДИСЕРТАЦІЯ

**ОСОБЛИВОСТІ ТРАНСФОРМАЦІЇ ЗАКРИТОЇ ПОРИСТОСТІ
ПІСКОВИКІВ ДОНБАСУ**

Спеціальність 04.00.01 – «Загальна та регіональна геологія»

Науки про Землю

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата геологічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ Антіпович Я.В.

Науковий керівник:

Баранов Володимир Андрійович
доктор геологічних наук, старший
науковий співробітник

Дніпро – 2019

АНОТАЦІЯ

Антіпович Я.В. Особливості трансформації закритої пористості пісковиків Донбасу. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата геологічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 04.00.01 – «Загальна та регіональна геологія» (103 Науки про Землю). – Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України; Інститут геологічних наук Національної академії наук України, Київ, 2019.

Дисертація присвячена виявленню особливостей і встановленню закономірностей перетворення закритої пористості карбонових пісковиків Донецького басейну в умовах катагенезу порід.

В процесі виконання дисертаційної роботи проводився комплекс досліджень пористості пісковиків Донбасу. На ряду з загальновідомими типами пористості (загальна, відкрита, замкнута) виділено новий підтип закритої пористості – зерновий.

Зернову замкнуту пористість утворюють чисельні флюїдні включення в уламкових зернах пісковиків. Включення переважно газові, рідше газорідинні. Більша частина газових включень утворилася безпосередньо в умовах Донецького басейну, при катагенетичному процесі. За складом газові включення представлені в основному метаном, вуглекислим газом та азотом (В.А. Баранов, 1989). Особливістю газових включень кварцових зерен пісковиків Донбасу є їх дрібні розміри. В середньому вони складають 1-1,5 мкм.

Інтерес роботи полягає в тому, що газові включення в уламкових зернах пісковиків Донбасу, розглядаються як додатковий фактор впливу на газодинамічні явища у вугільних шахтах. На думку вчених, які займалися дослідження флюїдних включень в мінералах різного генезису, однією з

причин газодинамічних явищ у гірничих виробках є природна декрипітація газових включень в тисячах тонн породи (Е. Рьоддер, 1987, В.А. Баранов, 1989). Це пов'язано з великим тиском флюїдів у включеннях та додатковим тиском вуглепородного масиву. Присутність флюїдних включень в мінералах різних порід при зростанні температури та тиску призводить до появи внутрішнього напруження в мінералі, що провокує природну декрипітацію. Саме декрипітація флюїдних включень може виступати додатковим енергетичним джерелом викиду порід. До того ж газ в закритих порах, послаблює міцність цементу пісковиків і спільно з вільним газом у відкритих порах та тріщинах призводить до руйнування, подрібнення та виносу порід при викиді.

Інший інтерес дослідження зернової закритої пористості пов'язаний з тим, що загальна пористість, яку визначають після подрібнення зразка породи до розмірів породоутворюючих зерен, по суті не є загальною, оскільки значна кількість мікропор залишається в уламкових зернах. Дослідження показали, що розміри частинок проби пісковиків після визначення показника загальної пористості значно вищі за розміри включень, які знаходяться в уламкових зернах порід. Тобто для розкриття всього об'єму пор, породу потрібно подрібнювати до частинок мікронного розміру, або визначати об'єм закритих пор в уламкових зернах порід за методикою, яка запропонована в даній роботі.

Для дослідження зернової закритої пористості використовувалися методи просвічуючої та растрової електронної мікроскопії та оптичної мікроскопії. Порівняльний аналіз різних методів дозволив виявити, що найбільш інформативним та економічним для дослідження зернової закритої пористості є метод оптичної мікроскопії, при прохідному освітленні та збільшенні 1200 кратно з застосуванням імерсійної рідини. У якості препаратів використовувалися шліфи карбонових пісковиків Донбасу.

Особливістю Донецького басейну є те, що в ньому залягають породи всіх трьох підстадій катагенезу – ранньої, середньої та пізньої. Це дає

можливість дослідити всі вторинні зміни порід, які відбуваються після діагенезу до перетворення їх у метаморфічні породи. Під час катагенезу змінюються термобаричні та геохімічні умови, які мають вагомий вплив на мінеральний склад порід, фізико-механічні властивості та ін.

Шліфи пісковиків, які використовувалися при дослідженні, були виготовлені з проб, відібраних в п'яти геолого-промислових районах Донбасу – Павлоградсько-Петропавлівському, Красноармійському, Донецько-Макіївському, Алмазно-Мар'ївському та Довжано-Ровенецькому. Зазначені райони вміщують вугілля різних марок, від Д до А та відрізняються за тектонічною дислокованістю. Завдяки цьому вдалося встановити розмір мікропор, їх кількість, форму, об'єм, закономірності змін в залежності від ступеня перетворення порід в умовах катагенезу. Включення і мікродеформації при оптичному дослідженні, враховувалися у кварцових зернах при їх розмірі не менше 0,05 мм, який відповідає мінімальному розміру зерен піщаної фракції.

За походженням газові включення у кварцових зернах пісковиків Донбасу є первинними та вторинними. Первинні включення, ймовірно, утворилися ще в материнських породах. Вони добре ідентифікуються при оптичному дослідженні. Їх особливістю є те, що вони переважно є двофазними та їх розмір в 1,5-2 рази перевищує розмір вторинних включень. Середній розмір первинних включень складає 3-4 мкм. У порівнянні з вторинними включеннями у кварцових зернах пісковиків Донбасу вони зустрічаються рідше. Вторинні включення представлені двома типами – включеннями смужок Бьома то «губчастої» структури. Смужки Бьома – це мікроструктурні деформації, які декоровані газовими включеннями. Вони утворюються коли у кварці, найбільш крихкому мінералі пісковика, під дією тиску вуглепородного масиву починають з'являтися численні мікротріщини. Мікротріщини стають сприятливим середовищем для міграції в них флюїду. Після заліковування мікротріщин вторинним кварцом, утворюються окремі включення, які переважно мають чітку ізометричну форму. Включення

«губчастої» структури утворюються за рахунок «реакції» включень смужок Бьома на збільшення тиску вуглепородного масиву. Іншими словами, утворення «губчастої» структури є наступним етапом перетворення включень смужок Бьома. При збільшенні тиску вуглепородного масиву включення «прагнуть» до енергетичної рівноваги, результатом чого є їх подрібнення на менші розміри.

За допомогою комплексу досліджень встановлено, що розмір газових включень у кварцових зернах карбонових пісковиків Донбасу закономірно зменшується при зростанні ступеню катагенетичних перетворень. Середні значення змінюються від 1,5 до 0,75 мкм.

За допомогою оптичних досліджень встановлено онтогенез зернової закритої пористості пісковиків Донбасу, який полягає у зародженні флюїдних включень на ранній підстадії катагенезу, розвитку на середній підстадії катагенезу, коли утворюється велика кількість окремих включень з чіткими формами та анігіляцію на пізній підстадії катагенезу, коли під дією високого тиску включення починають подрібнюватися до найменших розмірів. В результаті подрібнення включення газ як би розчиняється в мінералі та утворює пори в тисячі та соті мікрони, після чого дифузійним шляхом мігрує в зони найменших тисків.

За допомогою запропонованої в роботі методики підрахунку об'ємів газових включень в уламкових зернах порід встановлено, що об'єми зернової закритої пористості змінюються за поліноміальною залежністю. Найвищий показник зернової закритої пористості пісковиків встановлено для середньої підстадії катагенезу, який сягає 3,5-4 %. Варто зазначити, що отримані за допомогою запропонованої методики значення, не є абсолютними, оскільки дослідження шліфів пісковиків під оптичним мікроскопом при збільшенні 1200 крат дозволяє отримати мінімальний розмір включень 0,3 мкм. Дослідження шліфів при вищих значеннях збільшення дозволило б встановити ще менший розмір включень і як наслідок додаткові значення об'ємів.

За допомогою кореляційного аналізу встановлено відсутність впливу сучасної глибини залягання пісковиків на об'єм флюїдних включень у кварцових зернах ($r = -0,24$).

За допомогою дисперсійного аналізу встановлено вплив катагенезу на об'єм флюїдних включень у кварцових зернах пісковиків.

Об'єми зернової закритої пористості у кварцових зернах пісковиків Донбасу в середньому в 1,5-2 рази перевищують показники цементної закритої пористості (об'єм ізольованих пор в цементуючій речовині породи). Якщо показник закритої пористості, який розраховується за різницею між загальною та відкритою пористістю, для пісковиків Донбасу в середньому складає 1-2 % то з урахуванням зернової закритої пористості він може сягати 4 % і більше.

Отримані результати мають важливе значення при дослідженні пористості порід. Відомо, що пористість є одним з показників, який враховують при прогнозуванні газодинамічних явищ та прогнозуванні колекторських властивостей порід. При встановленні показника загальної пористості важливо враховувати той об'єм закритих пор, який знаходиться в уламкових зернах порід, у вигляді газових включень. Це дозволить отримати точніші дані та вірогідність отриманих показників.

Інший практичний інтерес дослідження зернової закритої пористості полягає у тому, що її показники необхідно враховувати при прогнозуванні термічних та газодинамічних явищ у вугільних шахтах, оскільки значні об'єми та тиск флюїдних включень, у сукупності з додатковим тиском вуглепородного масиву, можуть виступати додатковим імпульсом для прояву зазначених явищ.

Ключові слова: газові включення, уламкові зерна, пористість, катагенез, карбонові пісковики.

ABSTRACT

Antipovich Y.V. Features of transformation of Donbas sandstones closed porosity. – Manuscript.

Thesis for the degree of a Candidate of Geological Sciences (Ph.D.) in specialism area 04.00.01 – “General and regional geology” (103 – Earth sciences). – Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov, National Academy of Sciences of Ukraine; Institute of Geological Sciences, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 2019.

The thesis is devoted to revealing of features and establishment of regularities of transformation of closed porosity of carbon sandstones of Donetsk Basin.

In the course of the thesis work, a complex of studies on the porosity of Donbass sandstones was carried out. Together with well-known porosity types (absolute, open, closed) a new subtype of closed porosity - grain is allocated.

Grain closed porosity is formed with numerical inclusions in the fragments of sandstones. Inclusions are mainly gas, less gas-liquid. Most of the gas inclusions were formed directly in the Donetsk Basin, during catagenetic processes. The composition of the gas inclusions are methane, carbon dioxide and nitrogen (V.A. Baranov, 1989). The peculiarity of gas inclusions of quartz grains of Donbas sandstones is their small size. On average, they are 1.5-2 microns.

Interest of the work is that the gas inclusions in the clastic grains of the Donbas sandstones are considered as an additional factor of influence on gas-dynamic phenomena in coal mines. According to scientists, who studied fluid inclusions in minerals of different genesis, one of the causes of gas-dynamic phenomena in rock massifs is the natural decrepitation of gas inclusions in thousands of tons of rock (E.Rodder, 1987, V.A. Baranov, 1989). This is due to the high fluid pressure in the inclusions and the additional pressure of the rock massif. The presence of fluid inclusions in minerals of different rocks with an increase in temperature and pressure leads to the appearance of internal stress in the mineral, which provokes natural decrepitation. It is decipitation of fluid inclusions that can

act as an additional energy source for rock emissions. In addition, gas in closed pores weakens the strength of sandstone cement and, together with free gas in open pores and cracks, leads to the destruction, grinding and removal of rocks during rock outburst.

Another interest of work is that the absolute porosity, which is determined after the crushing of the rock sample to the size of the rock-forming grains, is essentially not absolute, since a significant amount of micropores remains in the clastic grains. Studies have shown that the size of the sandstone sample particles after the determination of the absolute porosity index is significantly higher than the size of inclusions found in the grain fragments. That is, to reveal the entire volume of pores, the rock needs to be crushed to particles of micron size, or to determine the volume of closed pores in rock grains according to the method proposed in this thesis.

To study closed grain porosity, transmission and scanning electron microscopy methods and the optical microscopy method were used. A comparative analysis of different methods made it possible to determine that the most informative and economical method for studying closed grain porosity is the optical microscopy method, with transmitted light and a magnification of 1200 times using an immersion liquid. As preparations, thin sections of carbon sandstones of Donbass were used.

The peculiarity of the Donetsk Basin is that it contains the rocks of all three substages of catagenesis - early, middle and late. This makes it possible to investigate all secondary changes of rocks that occur after diagenesis to their transformation into metamorphic rocks. During catagenesis, thermobaric and geochemical conditions change, which have a significant influence on the mineral composition of rocks, physical and mechanical properties, etc.

Sandstone thin sections, used in the study, were made from samples selected in five geological areas of the Donbass - Pavlogradsko-Petropavlovskiy, Krasnoarmeyskiy, Donetsk-Makiivskiy, Almazno-Mariivskiy and Dovzhano-Rovenetskiy. These areas contain coal of different grades and differ in tectonic

dislocation. Thanks to this, it was possible to establish the size of micropores, their number, shape, volume, regularities of changes depending on the degree of transformation of rocks under conditions of catagenesis. Inclusions and micro-deformations in optical examination were taken into account in quartz grains with their size not less than 0.05 mm, which corresponds to the minimum grain size of the sand fraction.

By origin, gas inclusions in the quartz grains of the Donbass sandstones are primary and secondary. The primary inclusions probably formed in the mother rocks. They are well identified by optical research. Their peculiarity is that they are mainly two-phase and their size is 1.5-2 times larger than the size of the secondary inclusions. The average size of the primary inclusions is 3-4 μm . Compared to the secondary inclusions in the quartz grains of the Donbass sandstones, they are less common. Secondary inclusions are represented by two types - inclusions of Bohm strips and of "spongy" structure. Boehm strips are microstructural deformations that are decorated with gas inclusions. They are formed when numerous microcracks begin to appear in the quartz, the most fragile sandstone mineral, under the influence of the pressure of rock mass. Microcracks are a favorable environment for fluid migration. After the healing of the microcracks by the secondary quartz, separate inclusions are formed, which preferably have a clear isometric shape. Inclusions of the "spongy" structure are formed by the "reaction" of the inclusions of the Bohm strips to increase the pressure of the rock massif. In other words, the formation of a "spongy" structure is the next step in transforming the inclusions of the Bohm strips. As the pressure of the rock mass increases, the inclusion of "seek" to energy equilibrium, resulting in their grinding to smaller sizes.

By means of a complex of researches it is established that the size of gas inclusions in quartz grains of carbonic sandstones of Donbass decreases with increasing degree of catagenetic transformations. Mean values vary from 1.5 to 0.75 μm .

Using the optical studies the ontogenesis of the grain closed porosity of the Donbass sandstones have established. The ontogenesis consists in the formation of fluid inclusions at the early stage of catagenesis, development at the middle stage of catagenesis, when a large number of individual inclusions with clear forms are formed, and annihilation at the late stage of catagenesis, when inclusions begin to decrease to the smallest size. As a result of the grinding of the inclusion, the gas seems to dissolve in the mineral and forms pores in thousands and hundreds of microns, after which it diffuses into the zones of lowest pressure.

Using the method of calculating the volume of gas inclusions in clastic grains of sandstones, it is established that the volumes of the closed grain porosity vary by polynomial dependence. The highest index of grain closed porosity of sandstones is set for the average substation of catagenesis, which reaches 3.5-4%. It is worth noting that the values obtained using the proposed method are not absolute, since the study of sandstone thin sections under an optical microscope at 1200 magnification allows to obtain a minimum size of inclusions of 0.3 μm . Exploring the thin sections at higher magnification values would allow for an even smaller size of inclusions and as a result additional volume values.

Correlation analysis revealed no influence of the current depth of sandstone deposition on the volume of fluid inclusions in quartz grains ($r = - 0.24$).

The effect of catagenesis on the volume of fluid inclusions in quartz sandstone grains was determined by means of ANOVA.

The volume of grain closed porosity in the quartz grains of the Donbass sandstones is on average 1.5-2 times higher than the indicators of cement closed porosity (volume of isolated pores in the cementitious substance of the rock). If the closed porosity index, calculated on the difference between total and open porosity, for sandstones of Donbass is on average 1-2%, given the grain closed porosity, it can reach 4% and more.

The results obtained are important in the study of the porosity of rocks. It is known that porosity is one of the indicators that are taken into account when predicting gas-dynamic phenomena and predicting the collector properties of

rocks. When setting the overall porosity, it is important to consider the volume of closed pores contained in the clastic grains of the rocks in the form of gas inclusions. This will allow us to get more accurate data and more accurate figures.

Another practical interest in the study of grain closed porosity is that its indices must be taken into account when predicting thermal and gas-dynamic phenomena in coal mines, since significant volumes and pressures of fluid inclusions, in conjunction with the additional pressure of the rock mass, may cause the additional impulse of these phenomena.

Key words: gas inclusions, grains, porosity, catagenesis, carbon sandstones.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ

Наукові праці, в яких опубліковані основні результати дисертації

1. Antipovich Y.V. The transformation of carbonic sandstone porosity of the Donbass / Y.V. Antipovich // Збірник наукових праць Інституту геологічних наук. – 2014. – Том 7, с. 48-51.
2. Антипович Я.В. Влияние палеоглубины на преобразование газовых включений в кварце карбоновых песчаников Донбасса / Я.В. Антипович // Геотехническая механика. – 2015. – Вып. 123, с. 238-243.
3. Антипович Я.В. Установление объемов газовых включений в кварце песчаников Донбасса / Я.В. Антипович // Геотехническая механика. – 2016. – Вып. 130, с. 72-77.
4. Антипович Я.В. Закономерности изменений абсолютной пористости угля и песчаников Донбасса / Я.В. Антипович // Геотехническая механика. – 2017. – Вып. 136, с. 95-100.
5. Baranov V.A. The results of the research of sandstones closed porosity / V.A. Baranov, Y.V. Antipovich // Journal of geology, geography, and geoecology. – 2018. – Vol. 27 (3), p. 414-421. *(особистий внесок – розробка методики визначення об'єму газових включень в кварцових зернах пісковиків Донбасу).*
6. Баранов В.А. Геологические процессы в осадочных породах / В.А. Баранов, В.А. Кириченко, Я.В. Антипович // Геотехническая механика. – 2018. – Вып. 139, с. 179-194. *(особистий внесок – збір та аналітичний огляд інформації щодо основних геологічних процесів які відбуваються в осадочних породах).*
7. Антіпович Я.В. Методика визначення закритої пористості в уламкових зернах порід / Я.В. Антіпович // Геотехническая механика. – 2018. – Вып. 142, с. 67-72.

8. Baranov V.A. Influence of the gas inclusions in quartz grains of sandstones on outburst of rocks / V.A. Baranov, Y.V. Antipovich // Traditions and innovations of resource-saving technologies in mineral mining and processing. Multi-authored monograph. – Petroani, Romania: UNIVERSITAS Publishing, 2019. – p. 403-415. *(особистий внесок – опис методики дослідження закритої пористості порід та отриманих результатів).*

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

9. Антипович Я.В. Особенности изменения пористости в углях и песчаниках Донбасса / Я.В. Антипович // Матеріали IV всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених: «Наукова весна 2013» 29 березня 2013 р., м. Дніпропетровськ. Дніпропетровськ: НГУ, 2013. – с. 215-216.

10. Антипович Я.В. Особенности преобразования коллекторских свойств песчаников в условиях раннего катагенеза / Я.В. Антипович // Матеріали міжнародної конференції: «Форум гірників – 2013» 2-5 жовтня 2013 р., м. Дніпропетровськ. Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2013. – с. 69-71.

11. Антипович Я.В. Трансформация коллекторских свойств песчаников Донбасса / Я.В. Антипович // Матеріали міжнародної наукової конференції: «Сучасні проблеми літології осадових басейнів України та суміжних територій» 6-11 жовтня 2014 р., м. Київ. Київ: Інститут геологічних наук НАН України, 2014. – с. 19.

12. Антипович Я.В. Исследование газовых включений в породообразующих зернах карбоновых песчаников Донбасса / Я.В. Антипович // Тези доповідей III Міжнародного форуму студентів, аспірантів і молодих вчених, 23-24 квітня 2015 р., м. Дніпропетровськ. Дніпропетровськ: Дніпропетровський національний університет, 2015. – с. 325-327.

13. Antipovich Y. The perspectives of coalbed methane extraction in the Donets basin / Y. Antipovich // Тези доповідей 10-го міжнародного форуму студентів

і молодих вчених: «Розширюючи обрії» 23-24 квітня 2015 р., м. Дніпропетровськ. Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2015. – с. 9.

14. Антипович Я.В. Трансформация включений в кварцевых зернах песчаников / Я.В. Антипович // Материалы минералогического семинара: «Современные проблемы теоретической, экспериментальной и прикладной минералогии (Юшкинские чтения – 2018)» 22-24 мая 2018 г., г. Сыктывкар. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2018. – с. 176-177.

15. Антипович Я.В. Возможности усовершенствования определения пористости пород / Я.В. Антипович // Матеріали наукової конференції: «Сучасні проблеми літології осадових басейнів України та суміжних територій» 24-26 вересня 2018 р., м. Київ. Київ: Інститут геологічних наук НАН України, 2018. – с. 13.

16. Баранов В.А. Метастабільність включень у пісковиках Донбасу / В.А. Баранов, Я.В. Антипович // Тези наукової конференції, присвяченої 50-річчю Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка: «Здобутки і перспективи розвитку геологічної науки в Україні» 14-16 травня 2019 р., м. Київ. Київ: Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка, 2019. – Т.1, с. 128-129.

Авторські свідоцтва і патенти

17. Патент 132277, Україна, МПК G01V9/00(2018) Спосіб визначення об'єму газових включень в уламкових зернах порід / Баранов В.А., Антипович Я.В.; власник Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України. - № 11 2018 07537; заявл. 05.07.2018; опубл. 25.02.2019, Бюл. № 4.

Наукові праці, які додатково відображають результати дисертації:

18. Antipovich Y. Influence of catagenesis on the transformation of sandstone porosity of the Donetsk Basin / Y. Antipovich // Modern Science. – 2018. – Vol. 5, p.112-117.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	17
ВСТУП.....	18
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА ВИБІР НАПРЯМКІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	24
1.1 Дослідження впливу катагенезу на пористість порід Донбасу.....	24
1.2 Аналіз досліджень флюїдних включень у мінералах.....	32
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ, ОБ'ЄКТИ ТА ОБ'ЄМИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	38
РОЗДІЛ 3 ГЕОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНІВ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	47
3.1 Стратиграфія.....	48
3.2 Тектоніка.....	66
3.3 Колекторські властивості порід.....	75
3.4 Викиднебезпечність порід.....	82
РОЗДІЛ 4 ТИПИ ПОРИСТОСТІ ПОРІД ТА МЕТОДИ ЇХ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	87
4.1 Типи пористості порід.....	87
4.2 Методи дослідження пористості порід.....	89
4.3 Дослідження пористості порід Донбасу.....	91

РОЗДІЛ 5 ОПТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКРИТОЇ ПОРИСТОСТІ ПОРІД.....	102
5.1 Типи та умови утворення закритої пористості порід.....	102
5.2 Методика дослідження закритої пористості порід.....	108
5.3 Результати дослідження закритої пористості порід Донбасу.....	112
5.4 Обробка результатів методами математичної статистики.....	121
5.5 Онтогенез зернової закритої пористості.....	124
5.6 Практичне значення дослідження зернової закритої пористості...	127
ВИСНОВКИ.....	135
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	137
ДОДАТКИ.....	153
ДОДАТОК А Список публікацій за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації.....	154
ДОДАТОК Б Патент на корисну модель.....	157
ДОДАТОК В Акт передачі матеріалів науково-дослідної роботи на ВП «Шахта «Карбоніт» ДП «Первомайськвугілля»	159
ДОДАТОК Г Акт передачі матеріалів науково-дослідної роботи на ТОВ «Краснолиманське»	160

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ГДЯ	Газодинамічне явище
ГПР	Геолого-промисловий район
ДДЗ	Дніпровсько-Донецька западина
Марки вугілля:	
А	Антрацит
Б	Буре
Г	Газове
Д	Довгополуменеве
Ж	Жирне
К	Коксівне
П	Пісне
ПС	Пісне спікливе
ПЕМ	Просвічуючий електронний мікроскоп
РЕМ	Растровий електронний мікроскоп
СФЗ	Структурно-фаціальна зона

ВСТУП

Актуальність теми досліджень. Особливістю Донецького басейну є наявність, крім вугілля, значних запасів метану, який міститься у вугільних пластах й породах. На думку вчених, запаси вуглеводнів в породних товщах Донбасу дозволяють розглядати басейн як вуглегазовий, експлуатація якого має бути комплексною, з метою зниження газовиділення в гірничі виробки шахт, а також отримання нетрадиційного виду газової сировини [1, 2]. Загальні ресурси метану у вугленосній товщі Донбасу на глибинах від 500 до 1800 м, за різними оцінками, складають від 12 до 25 трлн. м³ [2]. Але не дивлячись на значні поклади газу у вугленосній товщі Донбасу, видобуток його пов'язаний з низкою проблем. На відміну від традиційних газових родовищ, Донецький басейн характеризується складними гірничо-геологічними умовами, які негативно вплинули на колекторський потенціал порід. Газовміщуючі породи басейну мають порівняно невеликі значення пористості, проникності, досить високі значення щільності. Це призвело до того, що газ у басейні є, але видобувати його традиційними методами важко.

Значні скупчення газу і низький колекторський потенціал порід, який не дозволяє достатньою мірою дегазувати вуглепородний масив і видобувати газ як додаткову енергетичну сировину, створюють сприятливі умови для протікання газодинамічних явищ у вугільних шахтах Донбасу.

У 70-80-ті роки минулого століття, вчені, які займалися дослідженням газових включень в мінералах, почали приділяти підвищену увагу до газодинамічних явищ в пісковиках, солі та інших породах. На думку Е. Рьоддера [3], однією з причин проявів газодинамічних явищ в породних масивах є природна декриптація газових включень в тисячах тонн породи, що призводить до їх викиду в гірничих виробках. За даними вчених, тиск газу, який знаходиться у включеннях, в середньому коливається від 30 МПа до 50 Мпа [4, 5]. На їх думку, викидонебезпечна порода має великий запас

внутрішньої енергії за рахунок стислого газу закритих мікропор, яка в багато разів перевищує енергію, необхідну на руйнування цієї породи.

При дослідженні викидонебезпечних пісковиків Донбасу В.А. Барановим [6] був зроблений висновок, що значний об'єм закритої пористості (понад 80 % від її загального об'єму) знаходиться у породоутворюючому мінералі вуглевміщуючих пісковиків, представленому уламками кварцових зерен. Закриті мікропори є газовими, рідше газорідними включеннями. За складом, газові включення представлені метаном, вуглекислим газом та азотом [7-9]. Зокрема виділені первинні включення, утворені ще в материнських породах, в основному вони є двофазними (газорідкими) і їх розмір в 1,5-2 рази перевищує розмір вторинних включень. Найбільш поширеними у кварцових зернах пісковиків Донбасу є вторинні включення, які представлені смужками Бьома і «губчастою» структурою. Смужки Бьома є мікродоформациями уламкових зерен, які декоровані газовими рідше газорідними включеннями. «Губчаста» структура є наступним етапом перетворення смужок Бьома, і утворюється в результаті поділу включень смужок Бьома в умовах підвищених температур і тиску у вуглепородному масиві [6].

Значна кількість газових включень у кварцових зернах пісковиків Донбасу, і можливий тиск під яким вони знаходяться, дають привід розглядати їх як додатковий фактор, що впливає на появу газодинамічних явищ у вугільних шахтах. Таким чином, встановлення основних закономірностей перетворення закритої пористості, представлені більшою мірою газовими включеннями у кварцових зернах пісковиків, є актуальним завданням, вирішення якого, дозволить встановити додаткові об'єми газу, які вміщують газonosні породи Донбасу.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась в Інституті геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України в лабораторії дослідження структурних змін гірських порід відділу геології вугільних родовищ великих глибин відповідно до держбюджетних тем: «Визначення структурно-мінералогічних

особливостей в осадових, метаморфічних та магматичних породах» (номер держреєстрації 0111U005128) згідно з Постановою Бюро Відділення механіки НАН України (протокол № 4, від 07.07.2010 р.), «Встановлення закономірностей зв'язаних геомеханічних і фільтраційних процесів у вуглепородному масиві з метою підвищення ефективності його газовіддачі, розробки методів прогнозування та принципів запобігання газодинамічних явищ при веденні гірничих робіт» (номер держреєстрації 0115U002533) згідно з Постановою Бюро Відділення механіки НАН України (протокол № 5, від 24.09.2014 р.)

Мета роботи – встановити закономірності трансформації закритої пористості пісковиків Донбасу в залежності від катагенетичних перетворень порід.

Для досягнення мети вирішувалися наступні завдання:

- 1) дослідити перетворення газових включень у кварцових зернах карбонових пісковиків Донбасу на всіх підстадіях катагенезу;
- 2) розробити методику підрахунку об'єму газових включень в уламкових зернах пісковиків Донбасу;
- 3) встановити об'єми газових включень в уламкових зернах пісковиків та закономірності їх зміни в залежності від постдіагенетичних перетворень порід;
- 4) обґрунтувати практичне значення отриманих результатів.

Для виконання сформульованих в дисертації завдань були застосовані наступні **методи дослідження**:

1. Метод оптичної мікроскопії, з застосуванням відбивного, бічного та прохідного освітлення при збільшенні від 100 до 1200 крат;
2. Метод просвічуючої та растрової електронної мікроскопії;
3. Методи визначення загальної та відкритої пористості пісковиків;
4. Комплекс методів математичної статистики (кореляційний та дисперсійний аналізи).

Об’єкт досліджень – процес перетворення газових включень в породоутворюючих зернах пісковиків кам’яновугільних відкладів Донбасу.

Предмет досліджень – пісковики кам’яновугільних відкладів Донбасу різних підстадій катагенезу.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Вперше встановлено новий підтип закритої пористості – зерновий, на підставі чого запропоновано поділяти закриту пористість порід на цементну (ізолювані пори в цементуючій речовині породи) та зернову (газові включення в породоутворюючих зернах породи).

2. Вперше встановлено онтогенез зернової закритої пористості пісковиків Донбасу в залежності від підстадій катагенезу.

3. Вперше встановлено, що розмір газових включень у кварцових зернах карбонових пісковиків Донбасу зменшується за лінійною залежністю при зростанні ступеня катагенетичних перетворень.

4. Вперше встановлено об’єми зернової закритої пористості, які сягають 3-4 % у пісковиках середньої підстадії катагенезу та обґрунтовано практичне значення дослідження закритої пористості порід.

Практичне значення отриманих результатів.

1. Розроблено «Спосіб визначення об’єму газових включень в уламкових зернах порід» (Патент на корисну модель № 132277).

2. Результати досліджень увійшли до «Рекомендацій з прогнозу викиднебезпечності пісковиків на вугільних шахтах України», які були передані спеціалістам ТОВ «Краснолиманське» та ВП «Шахта «Карбоніт» ДП «Первомайськвугілля».

Обґрунтованість і достовірність наукових положень та висновків підтверджена необхідною і достатньою кількістю експериментальних досліджень і фактичних даних, науковим аналізом експериментально отриманих і відомих з літератури фактів, використанням апробованих приладів та методів.

Особистий внесок здобувача. На підставі власних досліджень здобувачем сформульовано мету та задачі роботи, за результатами оптичних досліджень шліфів з відібраних проб пісковиків встановлено онтогенез зернової закритої пористості пісковиків Донбасу, за допомогою розробленої автором методики встановлено додаткові об'єми закритої пористості, які раніше не враховувались, сформульовані наукове та практичне значення отриманих результатів.

Апробація роботи. Основні результати досліджень доповідались на IV всеукраїнській науково-технічній конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Наукова весна» (м. Дніпропетровськ, 2013), міжнародній конференції «Форум гірників» (м. Дніпропетровськ, 2013), міжнародних наукових конференціях «Сучасні проблеми літології осадових басейнів України та суміжних територій» (м. Київ, 2014 та 2018 роки), III Міжнародному форумі студентів, аспірантів і молодих вчених (м. Дніпропетровськ, 2015), X міжнародному форумі студентів і молодих вчених «Widening our horizons» (м. Дніпропетровськ, 2015), мінералогічному семінарі «Современные проблемы теоретической, экспериментальной и прикладной минералогии (Юшкинские чтения – 2018)» (м. Сиктивкар, 2018), XVI конференції молодих вчених «Геотехнічні проблеми розробки родовищ» (м. Дніпро, 2018), науковій конференції, присвяченій 50-річчю Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка «Здобутки і перспективи розвитку геологічної науки в Україні» (м. Київ, 2019).

Публікації. Результати роботи опубліковані в 18 наукових працях, з них 13 – одноосібно. Загальна кількість публікацій у вітчизняних наукових фахових виданнях, в тому числі тих, які входять до міжнародних наукометричних баз – 7, статті в закордонній монографії – 1, статті, які додатково відображують зміст дисертації – 1, матеріали та тези конференцій – 8, патенти – 1.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, висновку, списку використаних джерел та додатків. Робота містить

120 сторінок друкованого тексту, 35 рисунків, 3 таблиці, список використаних джерел із 120 найменувань.

Автор висловлює глибоку вдячність науковому керівнику, доктору геологічних наук В.А. Баранову за постійну увагу, вичерпні поради, науково-методичну допомогу та підтримку під час виконання роботи.

Щира подяка кандидату геологічних наук, старшому науковому співробітнику Л.Ф. Маметовій за цінні поради та наукові консультації при написанні роботи.

Автор висловлює вдячність співробітникам лабораторії дослідження структурних змін гірських порід ІГТМ НАН України, кандидату геологічних наук, старшому науковому співробітнику П.С. Пащенко, кандидату геологічних наук, науковому співробітнику О.О. Карамущі, інженеру 2-ї категорії Стефанку С.В. за поради та підтримку при виконанні дисертаційної роботи.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА ВИБІР НАПРЯМКІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Дослідження впливу катагенезу на пористість порід Донбасу

Одним з головних факторів який визначає пористість порід, є ступінь їх катагенетичних перетворень.

Загалом, катагенез це складний процес взаємодії гірських порід, пластових вод, різних газів, розсіяної органічної речовини, який направлений на встановлення стаціонарного стану системи в умовах зростання параметрів зовнішнього впливу.

Катагенетичні зміни обумовлюються температурою, тиском, різними за формою та інтенсивністю тектонічними рухами. Занурення породних товщ та їх підняття супроводжуються вторинними перетвореннями, які впливають на зміну їх властивостей.

Вперше, термін “катагенез” був запропонований О.Є. Ферсманом. За його визначенням під цим терміном слід розуміти встановлення рівноваги в різнорідній товщі осадових порід [10]. Пізніше, вченими на чолі з М.Б. Вассоевичем [11] були скореговані назви підетапів катагенезу та границі між ними: ранній – протокатагенез (ПК), середній – мезокатагенез (МК), пізній – апокатагенез (АК). Згодом, Л.Б. Рухін [12] ввів поняття прогресивного та регресивного епігенезу (катагенезу). Л.В. Пустовалов [13] вважав, що в період регіонального епігенезу (катагенезу) відбувається поступовий перехід неврівноважених систем осадових порід до початкових стадій метаморфізму. Сьогодні, більшість дослідників вживає саме термін «катагенез» замість «епігенез». Під катагенезом розуміють стадію зміни осадових порід, після діагенезу і до початку метаморфізму [14-20].

Катагенез триває в умовах порівняно низьких температур і тисків, під час чого відбуваються процеси послідовної та вибіркової перекристалізації, корозія і розчинення зерен мінералів, утворення зрощення нових мінералів, ущільнення порід. Формуються нові мінеральні комплекси, які є більш стійкими у нових умовах. При збільшенні катагенетичних перетворень змінюється структура, мінеральний склад порід, зростає щільність порід, та як наслідок, зменшується їх пористість. В залежності від інтенсивності та часу катагенетичних перетворень виникає зональність порід, яка проявляється у мінеральних асоціаціях, структурах, характері перетворення.

Для Донецького басейну схема катагенетичних перетворень порід була запропонована М.В. Логвиненко [16]. Він виділив зони початкового катагенезу, глибинного катагенезу, початкового метагенезу та пізнього метагенезу.

Перша зона – зона незміненої глинистої речовини, вміщує породи карбону Дніпровсько-Донецької западини та північно-західної частини Донбасу. Це алевроліти, пісковики, аргіліти, вапняки та вугілля марок Д – Г. Породи мають уламкову структуру. Загалом, їх мінеральний склад малозмінений, але частково відмічається хлоритизація уламків ефузивних порід та початкова гідратація слюд.

Друга зона – зона зміненої глинистої речовини. Вміщує осадові породи карбону, які розташовані у південно-західній та центральній частині Донбасу. Породи представлені алевролітами, аргілітами, пісковиками, вапняками та вугіллям марок Ж, К, ПС. Зміни мінерального складу характеризуються подальшим перетворенням слюд та ефузивних порід. Породи характеризуються вибіркоким розчиненням зерен кварцу та польових шпатів з їх одночасною регенерацією у порах порід.

Третя зона – зона початкового метагенезу. Вміщує породи карбону південно-східної частини Донецького басейну. Породи представлені аргілітами, алевролітами, вапняками, окварцованими пісковиками та вугіллям марок П та А. Для цієї зони характерна інтенсивна гідрослюди́зація

глинистої маси. Для пісковиків є типовими нові структури, особливістю яких є проникнення одних кварцових зерен в інші.

Четверта зона – зона пізнього метагенезу. Охоплює породи на переході Донбасу в Передкавказзя. Породи представлені кварцитами та філітоподібними сланцями.

В класифікації катагенетичних перетворень порід, яка наведена І.І. Амосовим [18, 19], для встановлення підстадій катагенезу осадових порід використовувались відбивна властивість вітрени у вугільних включеннях у породах та вугільних пластах, вихід летких компонентів, вміст вуглецю, теплота згорання, тощо. Він поділяє катагенез на початковий (породи, які вміщують вугілля марок Б – Д), середній (породи, які вміщують вугілля марок Г – Ж) та кінцевий (породи, які вміщують вугілля марок К, ПС, П).

С.І. Малініним [20], для порід, які вміщують вугілля однакових стадій вуглефікації, в якості показників катагенетичних перетворень була прийнята кількість вторинного кварцу та новоутвореного серициту.

В.А. Барановим [8], в якості показників катагенетичних змін використовувалась температура початку та кінця перетворення форми газових та газорідних включень в породоутворюючих зернах пісковиків. При дослідженні температур гомогенізації вторинних включень було встановлено, що температура стабілізації форм включень коливається в межах 130-220°C та залежить від ступеня катагенетичних перетворень пісковика.

На даний момент катагенез поділяється на три підстадії, які відрізняються одна від одної характером зміни породи [11]. Наприклад, для пісковиків на ранній підстадії катагенезу характерне максимальне ущільнення, виражене в граничному зближенні уламкових зерен. На середній та пізній підстадії відбувається вибіркове розчинення уламкових зерен під дією тиску, що супроводжується одночасним відкладенням розчиненої речовини в поровому просторі. Також на цих підстадіях відбувається

з'єднання одних уламкових зерен з іншими. Це призводить до утворення в пісковиках нових структур, які отримали назву структур конформації, інкорпорації, мікростілолітизації і розростання або регенерації [21]. Зазначені структури доступні для вивчення під мікроскопом в прозорих шліфах.

Відкрита пористість та газопроникність є важливими параметрами пісковику, як потенційних колекторів газів. Безперечно великий внесок в дослідження колекторських властивостей пісковику Донбасу був зроблений вченими ІГТМ НАН України, колективом відділу геології вугільних родовищ великих глибин на чолі з академіком В.Ю. Забігайлом. Пористість та газопроникність порід розглянуті в роботах В.Ю. Забігайла, О.З. Широкова, В.В. Лукінова та інш. [22, 23]. За даними авторів [24-26], пористість є важливим показником фізико-механічних властивостей порід. В роботі [22] її запропоновано використовувати, як один з показників для прогнозу викиднебезпечності порід.

Вчені також займалися дослідженням пористості алевролітів та аргілітів Донецького басейну. За даними [22], пористість алевролітів змінюється від 2 - 3 до 20 %. Вона є вищою для районів з низькими стадіями вуглефікації вугілля (Павлоградсько-Петропавлівський, Красноармійський геолого-промислові райони) і зменшується із зростанням ступеня вуглефікації вугілля. Пористість аргілітів змінюється від 1 до 10 %. В цілому вона зменшується аналогічно пористості у алевролітів.

Дослідження впливу ступеня катагенезу порід на їх пористість було розпочато А.П. Феофіловою. В роботі [27] показано як впливає на пористість літологічний тип породи та інтенсивність катагенезу. Встановлено, що головним фактором, який впливає на пористість, є генетичний тип породи.

Пісковики вугленосних відкладів Донбасу є поліфаціальними комплексами, складеними алювіально-дельтовими відкладами. Основна частина цих комплексів по потужності представлена пластами, що утворилися в умовах підводних виносів річок, іноді з ознаками руслових або

прибережно-морських. Менше значення мають пласти пісковиків руслового і прибережно-морського генетичного типу. Рідше зустрічаються пласти пісковиків лагунних, озерних і болотяних фацій [28].

В роботі [29] встановлено, що найбільшу відкриту пористість мають руслові пісковики. Відмічається, що на стадії глибинного катагенезу відбуваються суттєві зміни структур пісковиків, значно зростає кількість вторинного кварцу, збільшується коефіцієнт тріщинуватості, зменшується коефіцієнт пористості, суттєво зростає кількість контактів на зерно. Також, на стадії глибинного катагенезу припиняється ущільнення порід. На більш пізніх стадіях відбуваються переважно фізико-хімічні процеси. Значно зростає кількість цементу за рахунок збільшення вмісту карбонатів, гідролу, кварцу. Роботи [29, 30] присвячені дослідженню пісковиків різних фацій, з різних підстадій катагенезу. За допомогою аналізу мінерального складу і структури пісковиків, доведено, що пісковики суттєво змінюються на межі між зонами катагенезу та метагенезу. Зокрема, суттєво змінюються структура порід, речовинний склад, відбувається зменшення викиднебезпечності порід за рахунок збільшення міцності пісковиків, зменшення пористості, заліковування мікродеформацій у зернах кварцу, зменшення вмісту газу у породах.

Велика увага вчених була приділена залежності фізико-механічних властивостей пісковиків від ступеня тектонічної порушеності вугленосної товщі [31-33]. Доведено, що відкрита пористість, об'ємна щільність, межа міцності при стисканні та розтягуванні пісковиків, розташованих біля пластів вугілля з однаковими марками, не є постійними. Вони закономірно змінюються від периферійних частин басейна до центральних. Автори пов'язують це із зростанням ступеня тектонічної порушеності, який за їхніми даними зростає в тому ж напрямку.

С.І. Малінін [20], при дослідженні властивостей порід та вугілля, довів, що вугілля в більшій мірі реагує на зростання температури. Н.В. Логвиненко

[16], Н.М. Страхов [34] вказують, що одним з головних чинників катагенезу порід є тиск, який поєднує у собі дві складові – геостатичну та стресову. Перша складова є пропорційна глибині, а друга пов'язана з інтенсивністю тектонічних напружень. Тому, головним чинником в перетворенні вугілля є температура, а порід – тиск.

В роботі І.В. Бучинської [14], зазначено, що ступінь катагенетичних перетворень пісковиків, їх структури та зміни мінералів залежать від тектонічної будови родовищ. Чим більшими були тектонічні напруги, тим більшою є інтенсивність катагенетичних змін пісковиків. Також, в роботі детально розглянута зміна пористості пісковиків різних генетичних типів у Донецько-Макіївському, Красноармійському районах Донбасу та Південно-Західному вугленосному районі Львівсько-Волинського басейну. Встановлено, що руслові пісковики Донецько-Макіївського геолого-промислового району мають меншу пористість ніж у Красноармійському. Максимальні вторинні перетворення є притаманними саме русловим пісковицям. Спостерігається велика кількість вторинних контактів, невелика кількість карбонатів і глинистого цементу, мінімальні зазори між уламковими зернами. Пісковики русел та підводних виносів рік у процесі переходу від стадії початкового до глибинного катагенезу характеризуються стрибкоподібним зменшенням пористості. Автор підкреслює, що існує тісний взаємозв'язок між пористістю порід, їх генетичним типом та ступенем катагенетичних перетворень.

В роботах [14, 35-36] зазначено, що катагенетичні перетворення супроводжуються корозією уламкової складової, деяким розщепленням слюди, серицитизацією польових шпатів, незначним утворенням вторинного кварцу. Відбувається корозія теригенних зерен, що призводить до деякого зменшення їхнього розміру. Це обумовлює високу пористість порід. Із зростанням ступеня катагенетичних перетворень відбувається ущільнення порід, що призводить до поступового зменшення пористості.

В роботі [37], зазначено, що при переході порід від зони початкового до зони глибинного катагенезу інтенсивно відбуваються вторинні зміни порід, головними з яких є структурні перетворення. Утворюється значна кількість вторинного кварцу, кварцового регенераційного цементу, контакти декількох зерен опукло-увігнутої форми. Кварцові зерна на деяких ділянках зростаються з максимально щільним приляганням зерен. Все це призводить до часткового окварцювання пісковиків і відбивається на зменшенні пористості. Спостерігається інтенсивне стрибкоподібне зменшення пористості пісковиків між зонами початкового та глибинного катагенезу.

В роботі [38] зазначено, що на перетворення об'ємної щільності та відкритої пористості суттєво впливає палеоглибина занурення порід, яка умовно визначається за маркою прилеглого вугілля. Для пісковиків одного, в тектонічному плані, району характерне збільшення щільності та зменшення відкритої пористості зі зростанням ступеня вуглефікації вугілля.

В роботі [39] зазначено, що сучасна глибина залягання порід впливає на об'ємну щільність та відкриту пористість тільки в периферійних регіонах, де породи зазнали змін лише на ранній підстадії катагенезу.

В дослідженнях М.В. Жикаляка [40] вказується на те, що закономірне зменшення відкритої пористості пісковиків із збільшенням сучасної глибини їх залягання та ступеню дислокованості вугленосної товщі обумовлене спільною дією тектонічних та літостатичних тисків.

В роботі Л.Ф. Маметової [41] зазначено, що вагомий вплив на колекторські властивості пісковиків мають карбонати. Вони є активними учасниками катагенезу та відчутно реагують на зміну температури, тиску, концентрацію циркулюючих у породі розчинів. В продуктивній товщі Донецького басейну, в межах раннього та середнього катагенезу, карбонати знаходяться в розсіяному, дрібноуламковому стані та утворюють поліморфні скупчення. В пісковиках вони представлені сидеритом, кальцитом, анкеритом. Загалом, карбонати погіршують фільтраційні властивості порід.

На думку Данилової Т.Є. [42], основними чинниками, що визначають колекторські властивості порід, є гранулометричний склад і інтенсивність розвитку процесів ущільнення укладання уламкових зерен і окварцовування. Проникність порід різко погіршується із зменшенням розміру зерен і збільшенням вмісту «дрібних» фракцій ($\leq 0,05$ мм), при цьому загальна пористість, в середньому, змінюється в невеликих межах.

Автор роботи [43] вважає, що зі зменшенням діаметру уламкових зерен зростає реакційна властивість поверхні породи і у зв'язку з цим відбувається підвищення швидкості вторинних процесів. Збільшення швидкості вторинних перетворень зі зменшенням розмірності має свою межу, нижче за яку спостерігається різкий спад. Це пов'язано, на думку наведеного автора, зі зменшенням проникності порід. Тонкозернисті породи характеризуються більш однорідним і стійким складом кластичної частини, яка представлена головним чином зернами кварцу, тоді як більш грубозернисті окремісті мають різnorідний мінералого-петрографічний склад.

В роботі [44] вказано, що інтенсивність катагенетичних змін піщано-гравійних порід має певну залежність від розмірності зерен порід і ступеня їх сортування. Ця інтенсивність зростає зі збільшенням розмірів уламкового матеріалу, що складає породу, і кращим його сортуванням. Тому якщо в добре відсортованих гравелітах і грубозернистих пісковиках вторинний цемент вже повністю сформувався, то в цих же породах низького сортування, а також в дрібнозернистих і деяких середньозернистих пісковиках, дуже часто можна спостерігати мало змінений первісний глинистий цемент або його релікти. Автор указує, що ступінь вторинних змін залежить, найімовірніше, від пористості і проникності: чим вище середній діаметр уламкових зерен, тим вище пористість і проникність, а отже вищий ступінь вторинних змін.

Співставлення мінерального складу пісковику з пористістю різних типів дозволило автору роботи [45] зробити висновок, що зі збільшенням кількості уламкового кварцу збільшується об'єм макропор та зменшується об'єм

субмакропор, перехідних пор та мікропор. Зростання вмісту у пісковиках вторинного кварцу супроводжується збільшенням об'єму перехідних пор та мікропор і зменшенням об'єму субмакропор та макропор. Подібні зміни пористості спостерігаються також при збільшенні вмісту у пісковиках органічного вуглецю та глинисто-слюдистих мінералів. У мікропорах та перехідних порах саме і відбуваються процеси сорбції. Її зростанню сприяють збільшення вмісту у пісковиках вугленосної товщі вторинного кварцу, глинисто-слюдистих мінералів, органічного вуглецю.

1.2 Аналіз досліджень флюїдних включень у мінералах

Першим звернув увагу на флюїдні включення в мінералах різного генезису англійський вчений Г.К. Сорбі після публікації статті «Утворення мінералів і порід на основі мікроскопічного вивчення кристалів» у 1858 р. [46]. Згодом він заклав основи методу вивчення гомогенізації включень, запропонувавши використовувати включення первісно гомогенного наповнення для визначення температури утворення мінералів.

Пізніше, російський вчений Г.Г. Лемлейн, вперше запропонував розділяти включення в мінералах за генетичним принципом – на первинні та вторинні, а за вмістом - на аутигенні та ксеногенні [47, 48].

З вітчизняних дослідників вагомий внесок у становлення науки про флюїдні включення в мінералах зробив М.П. Єрмаков [49-51]. У 50-х роках 20 століття він створив новий науковий напрям – термобарогеохімію. З групою колег, до складу якої входили такі вчені як В.А. Калюжний, А.В. Пізнюк, Р.Ф. Сухарський, Ю.О. Долгов, Л.І. Колтун та ін., вони досліджували тиск та температуру утворення мінералів і порід, етапи геологічних перетворень, визначали походження рудопроявів на основі вивчення включень у мінералах.

Згодом, великий внесок в дослідження включень в мінералах зробив видатний вчений В.А. Калюжний [52-54]. Важливими для відтворення умов формування геологічних об'єктів стали дослідження вченого щодо трансформації включень, які відбуваються після їх ізоляції. Також ним були розроблені методи дослідження хімічного складу включень, розширені уявлення про генетичну належність включень, температури їх гомогенізації та багато іншого. На сьогодні, дослідження флюїдних включень проводяться послідовниками В.А. Калюжного, серед яких такі вчені як І.М. Наумко, І.М. Зінчук, Б.Е. Сахно та інш. [55-57].

Загалом, багатогранні дослідження включень в мінералах різного генезису виконують фахівці як вітчизняних організацій, таких як Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України (м. Львів), Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення НАН України (м. Київ), Інститут геологічних наук НАН України (м. Київ) так і закордонні вчені. Основні результати досліджень з цього напрямку наведені в роботах [58-80].

В роботі [73], при дослідженні карбонатних порід методом малокутового рентгенівського розсіювання, авторам вдалося встановити закриті мікропори діаметром менше ніж 2 нм. Для кварцу та кальциту з вугленосних відкладів Донбасу, за допомогою мікроскопічних досліджень, встановлено розміри включень 1 мкм, рідше 4-5 мкм [7].

В роботі Г.О. Кульчицької, Д.К. Возняка [81] показано, що під дією температури флюїдні включення в кварці декрепітують, звільняючи законсервовані гази. Максимум газовиділення з включень у кварці припадає на 400-450°C.

В роботі В.А. Баранова [82] вказано, що об'єм закритої пористості пісковиків Донбасу збільшується від периферії басейну до його центральних частин, а також зі збільшенням палеоглибини.

Основний об'єм закритих мікропор знаходиться у кварцових зернах вуглевміщуючих пісковиків, які характеризуються найбільшою міцністю і крихкістю. Закриті мікропори представляють собою газові, рідше газорідні

включення. Вони поділяються на первинні, які утворилися ще в материнських породах та вторинні, які декорують площини ковзання в кварці, що є результатом пластичних мікродеформацій, так звані смужки Бьома.

Вперше смужки Бьома були описані німецьким петрографом Августом Бьомом у статті «Про породи Векселя» (1883), [83]. Він вказує на присутність численних ланцюжків газорідких включень в різноманітних мінералах, таких як кварц, мусковіт, польовий шпат та інш. Причину утворення ланцюжків А. Бьом не пояснює, але вказує на велику тектонічну дислокованість вивченого району.

Смужки Бьома це площини ковзання у мінералах, що виникли внаслідок мікрозсуву на атомарному рівні [84] і декоровані газорідкими включеннями. У процесі катагенетичних перетворень осадової породи відбувалося порушення структури мінералів і проникнення газів і розчинів до мікропорушень. У кварці пісковиків Донбасу смужки Бьома здебільшого субпаралельні, мають різну щільність, залежно від ступеня катагенезу та тектонічної дії. В одному зерні може бути до 2-5 систем смужок, розміщених одна відносно одної під кутом від $5-10^{\circ}$ до $80-90^{\circ}$. Кути між виходами оптичних осей кварцу від $10-15^{\circ}$ до $25-30^{\circ}$ [85].

Кількість смужок Бьома закономірно збільшується від периферії басейну до його центральних частин. Склад газорідких включень представлений метаном, вуглекислотою та азотом. Інші складові, такі як водень, рідкісні гази, інертні і т.д. складають в сумі не більше 10-13% [86].

Слабодислоковані в тектонічному відношенні прибортові райони характеризуються великим розкидом значень газових компонентів, підвищеним вмістом вуглекислоти в закритих мікропорах, відсутністю порівнянності складу газів в кварці і пісковику, що його вміщує.

Сильнодислоковані в тектонічному відношенні райони характеризуються незначним розкидом значень газових компонентів, підвищеним

вмістом метану в закритих порах, подібним складом газових компонентів в кварці і пісковикі, що його вміщує [86].

Включення смужок Бьома в кварцевих зернах пісковиків Донбасу є вторинними утвореннями, та є наслідком катагенетичних процесів. Вторинні включення, які мають правильні форми, зустрічаються рідко і характерні для пісковиків високого ступеня катагенезу. Наявність в одному зерні смужок Бьома з огранованими та ізометричними включеннями, вказує на неодноразове підвищення тиску і температур [86].

Результати термобарогеохімічних аналізів дозволили встановити температури гомогенізації і зміни форми включень від 100-120⁰С поблизу вугілля марки "Г", до 200-220⁰С поблизу вугілля марки "П", що вказує на низькотемпературний процес катагенетичних перетворень відкладів карбону Донецького басейну [82].

Наступним етапом видозміни включень смужок Бьома під дією підвищеної температури є формування «губчастої» структури. Вона утворюється за рахунок подрібнення включень на менші за розміром.

Вперше подрібнення включень в мінералах під дією температури встановив Г.Г. Лемлейн [87]. Пізніше цим питанням займалися Я.Є. Гегузін [88], В.А. Калюжний [52-53] та інші вчені.

Для кварцових зерен пісковиків Донбасу утворення «губчастої» структури детально описане В.А. Барановим. В роботі зазначено [82], що при певних термобаричних умовах газ, або флюїд, який знаходиться в порі під великим тиском прагне до енергетичної рівноваги, що і є наслідком подрібнення пори. В результаті цього газ як би розчиняється в мінералі, утворюючи таким чином пори розміром в соті та тисячні мікрон, після чого мігрує на границі зерен, в зони більш низьких тисків.

За даними авторів [89, 90], газ може мігрувати на кілька кілометрів при умові високої мікротріщинуватості порід. Оскільки породи Донбасу мають дуже низьку фільтраційну здатність [39], можна говорити про дифузійно направлений потік газів або флюїдів.

Висновки до Розділу 1. Аналіз літератури показав, що катагенетичні процеси мають суттєвий вплив на перетворення порід та зміну їх властивостей. На даний момент, більшістю авторів катагенез поділяється на три підстадії – ранню, середню та пізню. Для кожної підстадії характерні свої умови, які обумовлюють певні зміни порід.

Для пісковиків Донбасу катагенез посприяв низці вторинних змін, які негативно вплинули на колекторський потенціал порід. Не дивлячись на значні ресурси вугільного метану, пісковики Донецького басейну не є типовими колекторами. На відміну від традиційних колекторів, вони мають невеликі значення пористості, проникності та суттєві показники щільності. Значні скупчення газу та низькі колекторські властивості порід призвели до прояву різних газодинамічних явищ у вугільних шахтах.

При дослідженні пористості порід, як одного з необхідних показників для прогнозування газодинамічних явищ, основна увага вчених була прикута до вивчення загальної та відкритої пористості. Менше уваги приділялося дослідженню закритої пористості порід, оскільки на практиці цей показник майже не враховується.

Детальні дослідження флюїдних включень в мінералах різних порід дозволили вченим встановити важливі закономірності утворення цих включень, їх перетворення під дією різних геологічних чинників та багато іншого. Зокрема, для уламкових зерен пісковиків Донбасу були встановлені температури гомогенізації первинних та вторинних включень, їх хімічний склад, розміри та умови перетворення під впливом постдіагенетичних процесів. Доведено, що основний об'єм закритих мікропор знаходиться у кварцових зернах пісковиків, які характеризуються найбільшою міцністю та крихкістю.

Аналіз літературних даних дозволив автору виділити ряд невирішених питань, які стосуються дослідження закритої пористості порід, зокрема тієї частини яка знаходиться в уламкових зернах пісковиків Донбасу у вигляді флюїдних включень. Неясним залишається питання щодо: об'ємів газових та

газорідинних включень в уламкових зернах пісковиків Донбасу, їх зміни в умовах катагенезу; онтогенезу вторинних включень в умовах басейну; обґрунтування практичного значення дослідження закритої пористості газонасних порід при вивченні їх колекторських властивостей та вирішенні питань викиднебезпечності. Враховуючи зазначене була сформульована мета роботи, яка полягає у встановленні закономірностей трансформації закритої пористості пісковиків Донбасу в залежності від катагенетичних перетворень порід.

Для досягнення сформульованої мети в дисертаційній роботі передбачається вирішити наступні завдання:

1. Дослідити перетворення флюїдних включень у кварцових зернах карбонових пісковиків Донбасу на всіх підстадіях катагенезу;
2. Розробити методику підрахунку об'єму газових та газорідинних включень в уламкових зернах пісковиків Донбасу;
3. Встановити об'єми газових та газорідинних включень в уламкових зернах пісковиків та закономірності їх зміни в залежності від постдіагенетичних перетворень порід;
4. Обґрунтувати практичне значення отриманих результатів.

Результати проведених досліджень та вирішення сформульованих завдань стали основою дисертаційної роботи.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИ, ОБ'ЄКТИ ТА ОБ'ЄМИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Аналіз робіт присвячених дослідженню пористості газоносних порід показав, що особлива увага в цьому питанні прикута до визначення таких показників як загальна та відкрита пористість. Це пояснюється тим, що ці показники використовуються на практиці для прогнозування ГДЯ у гірничих виробках та дослідження колекторських властивостей порід. Щодо закритої пористості склалася дещо інша ситуація. Загальновідомий метод визначення закритої пористості полягає в тому, що цей показник визначається за різницею між загальною та відкритою пористістю [91]. За допомогою цього методу можна отримати показник того об'єму закритих пор, який міститься в цементі порід, оскільки при визначенні загальної пористості порід, зразки подрібнюють до розміру породоутворюючих зерен. Тобто той об'єм закритих пор, який міститься в уламкових зернах порід у вигляді переважно газових, рідше газорідних включень, при такому методі дослідження не враховується. Для дослідження закритих мікропор в уламкових зернах порід інформативними є мікроскопічні методи.

В даній дисертаційній роботі предметом дослідження вибрано карбонові пісковики Донбасу. По-перше, вони є основними породами в яких закладаються підготовчі виробки, оскільки є більш стійкими до гірничого тиску у порівнянні з іншими породами – аргілітами, алевролітами та вапняками. По-друге, пісковики є основними газовміщуючими породами Донбасу. Чисельні скупчення вільного метану дозволяють розглядати їх як потенційні колектори газу.

Необхідно зазначити, що при дослідженні пористості порід важливо враховувати всі її типи. Дослідження закритої пористості в дисертаційній

роботі проводилося з урахуванням загальної та відкритої пористості. Це перш за все пов'язано з тим, що порове середовище породи змінюється під впливом різних геологічних умов. Тому для того, щоб встановити основні закономірності перетворення пористості порід в залежності від різних умов, необхідно враховувати та порівнювати значення всіх її показників.

Одне з завдань дослідження полягало в порівняльному аналізі змін загальної, відкритої та закритої пористості пісковиків Донбасу в залежності від підстадії катагенезу порід. Для реалізації цієї задачі використовувалися показники загальної та відкритої пористості, які визначалися за стандартними методиками за ДСТУ 26450.1-85 [92] лабораторіями Інституту геотехнічної механіки НАН України та ДП “Укрнаукагеоцентр”. Закрита пористість порід визначалася двома способами.

Перший – загальновідомий спосіб визначення закритої пористості за різницею між загальною та відкритою пористістю. Цей спосіб дозволяє отримати показники закритої пористості в цементі породи.

Другий – спосіб визначення закритої пористості в уламкових зернах пісковиків. Для його реалізації використовувалися різні методи, порівняльний аналіз яких дозволив визначити найбільш оптимальний та інформативний з точки зору вирішення сформульованих завдань. Розглянемо їх детальніше.

Метод растрової електронної мікроскопії (РЕМ). Перевагою цього методу є можливість досліджувати зразки порід при збільшенні від 10 до 50 000 крат і більше з високою роздільною здатністю. В РЕМ ділянка зразка, що досліджується, опромінюється сфокусованим електронним пучком, який розвертається у растр на поверхні цього зразку. У якості препаратів можна використовувати зразки різного розміру (в межах розміру предметного столика) та товщини. Особливістю РЕМ є те, що зразки для дослідження мають бути електропровідними. Для забезпечення контакту з предметним столиком використовуються струмопровідні клеї. Якщо проводяться

дослідження зразків, які не проводять струм, на їх поверхню методом напилювання наноситься тонка електропровідна плівка золота, графіту і т.д.

При дослідженні зразків пісковиків використовувалися стандартні петрографічні шліфи без покривного скла, з тонким напиленням золота.

Недоліком застосування методу РЕМ для дослідження газових включень є нечіткість зображення, яка забезпечується великою глибиною фокуса РЕМ. Внаслідок цього ускладнюється ідентифікація контурів окремих включень, що не дозволяє в повній мірі встановити розмір включень, їх форму та кількість (рис. 2.1).

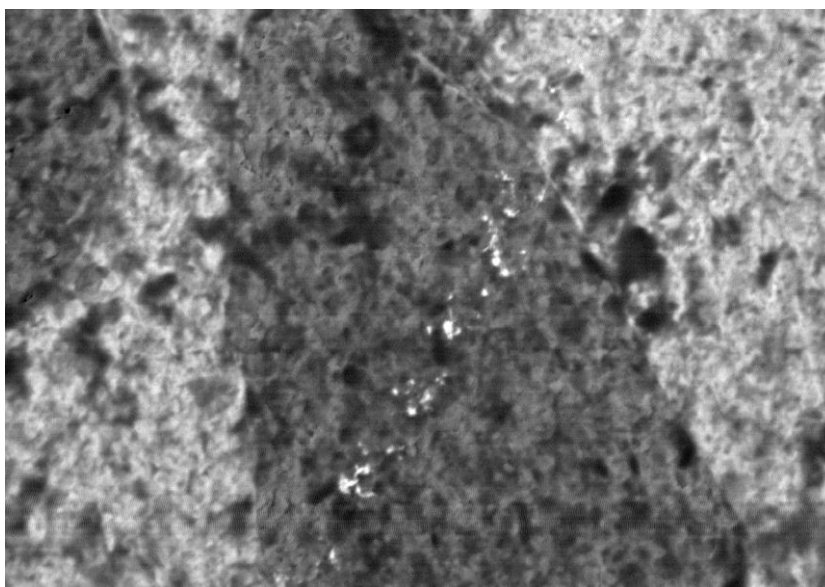


Рис. 2.1 Газові включення у кварцовому зерні карбонового пісковика Донбасу при дослідженні методом РЕМ (прилад РЕМТ - 100, зб. 10 000^x)

Метод просвічуючої електронної мікроскопії (ПЕМ). Перевагами цього методу є можливість виконувати дослідження з високою роздільною здатністю (до 1 нм), локальністю електронного пучка до 1 мкм і менше. Збільшення об'єкта дослідження при цьому виходить у 100 000 кратно і більше. Такі дослідження дозволяють отримувати характеристики речовин, які недоступні іншим традиційним методам вивчення препаратів. Цей метод дає можливість отримувати не тільки детальнішу інформацію, а й виконувати кількісні визначення особливостей будови та мікроструктури речовини.

При виконанні роботи застосовувався метод ПЕМ, на приладі ЕСВ - 100Л. Як препарати використовувалися двоступеневі вуглецеві репліки зі свіжих сколів пісковиків, які були отримані штучним шляхом.

Дослідження проводилося при збільшеннях від 2 000 до 10 000 крат, що пояснюється інформативністю зображень, які задовольняють вирішення сформульованих у роботі завдань. Застосування великих збільшень (понад 10 000 крат) пов'язане з певним зниженням якості зображення. Тобто визначення форми включень, їх кількості, підрахунок об'ємів ускладнюється через його нечіткість (Рис. 2.2).



Рис. 2.2 Газові включення у кварцовому зерні карбонового пісковик у Донбасу при дослідженні методом ПЕМ (прилад ЕСВ - 100Л, зб. 2 000^x)

До недоліків застосування методу ПЕМ, при вирішенні сформульованих у даній роботі завдань, є його трудомісткість. Виготовлення двоступеневих реплік з кожного зразка пісковиків потребує певного часу. Враховуючи об'єми дослідження цей метод не може в повній мірі задовольнити його реалізацію. Його можна використовувати як додатковий, для проведення досліджень на якісному рівні.

Метод оптичних досліджень. Оптичний мікроскоп є одним з основних технічних засобів, який використовують при дослідженнях речовинного

складу порід, структурних параметрів, мінералогічних властивостей порід і мінералів.

Одним з приладів, що застосовується при даних дослідженнях, є поляризаційний мікроскоп ПОЛАМ-Р 111. Цей мікроскоп дозволяє вивчати об'єкти в прохідному, відбивному і бічному освітленні, при збільшеннях від $35^{\times}$ до $600^{\times}$, з застосуванням імерсійної рідини - до $1200^{\times}$.

У якості препаратів можуть використовуватися шліфи, плоскопаралельні пластини, аншліфи, пришліфовки та ін.

В даній роботі, у якості препаратів, використовувалися стандартні петрографічні шліфи з розміром тонкого зрізу порід 20×20 мм.

Для вибору найбільш інформативного оптичного методу дослідження газових включень в уламкових зернах пісковиків Донбасу, вивчення шліфів пісковиків проводилося за допомогою поляризаційного мікроскопа ПОЛАМ-Р 111, при різних типах освітлення та при збільшеннях від 100 до 1200 крат.

Застосування бічного освітлення при збільшенні в $100^{\times}$ і більше є інформативним при дослідженні різних типів мікродеформацій в уламкових зернах порід. На рис. 2.3 видно мікроструктурні деформації типу смужок Бьома, але розпізнати окремі газові включення, якими вони виповнені, не можливо.

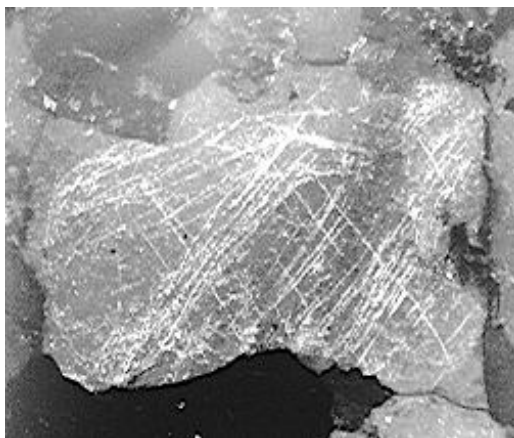


Рис. 2.3 Смужки Бьома у кварцовому зерні пісковика при бічному освітленні, зб. $100^{\times}$

Застосування відбивного освітлення не дає інформації щодо мікродеформацій та мікровключень в уламкових зернах пісковиків (рис. 2.4). Перш за все, це пов'язано з тим, що даний тип освітлення використовується для дослідження полірованих аншліфів. Для прозорих шліфів він майже не застосовується.

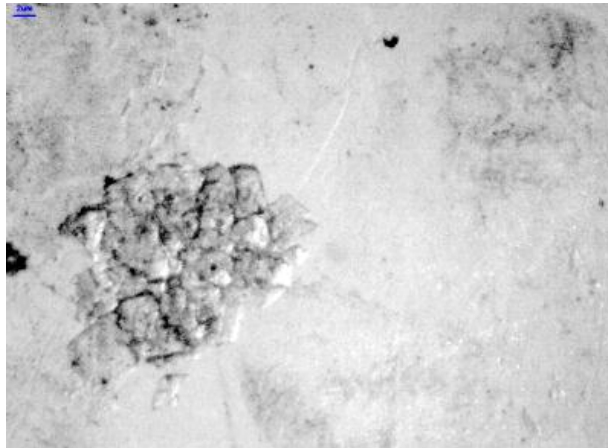


Рис. 2.4 Зерно кварцу карбонового пісковикау Донбасу при відбивному освітлені, зб. $100^{\times}$

Дослідження шліфів пісковиків в прохідному освітлені, при збільшенні в $100^{\times}$ дозволяє роздивитися тільки частину мікродеформацій, без урахування мікровключень (рис. 2.5).

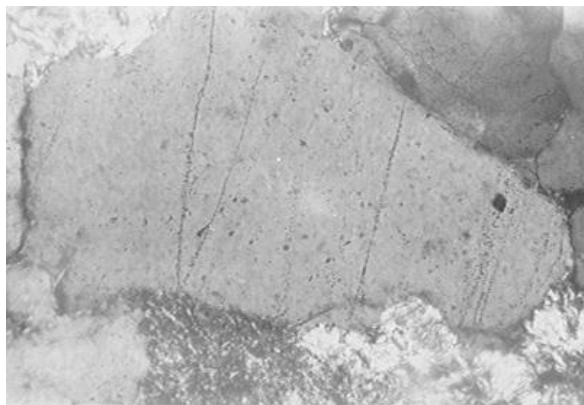


Рис. 2.5 Зерно кварцу карбонового пісковикау Донбасу при прохідному освітлені, зб. $100^{\times}$

Найбільш ефективним методом, для вирішення сформульованих завдань роботи, є дослідження шліфів в прохідному освітленні, при збільшеннях $1200\times$ із застосуванням імерсійної рідини (рис. 2.6). Завдяки цьому вдалося встановити розмір мікропор, їх кількість, форму, об'єм, закономірності змін в залежності від ступеня перетворення порід в умовах катагенезу. Включення і мікродеформації враховувалися у кварцових зернах при їх розмірі не менше 0,05 мм, який відповідає мінімальному розміру зерен піщаної фракції.

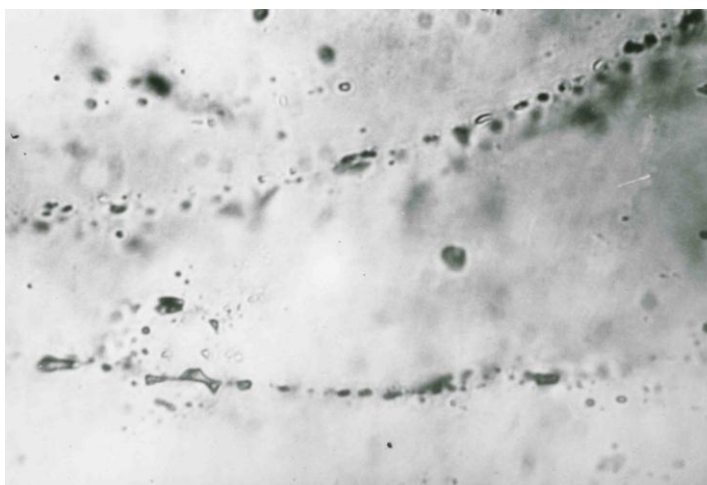


Рис. 2.6 Газові включення смужок Бьома у кварцовому зерні пісковика, зб. $1200\times$ з імерсійною рідиною

В роботі представлені результати дослідження пісковиків п'яти геолого-промислових районів Донбасу, які розташовані у південно-західній, центральній та північно-західній частинах Донбасу.

Підставою для вибору цих районів було наступне: зазначені райони представлені різними тектонічними блоками Донбасу, та змінюються від найменш дислокованих, Павлоградсько-Петропавлівського та Красноармійського, до більш дислокованих Донецько-Макіївського, Алмазно-Мар'ївського та Довжано-Ровенецького районів; породи зазначених районів вміщують вугілля майже всіх марок, від Д до А, що дає змогу дослідити пісковики всіх трьох підстадій катагенезу – ранньої, середньої та

пізньої. Підстадія катагенезу порід умовно визначається за технологічними марками вугілля або вмістом летких компонентів [11].

Загальна кількість використаних проб та вимірювань для отримання показників основних типів пористості пісковиків Донбасу наведена в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 - Характеристика об'єктів та об'ємів досліджень

Визначення загальної та відкритої пористості пісковиків				
Назва геолого-промислового району	Шахта	Індекс пісковика	Марка прилеглого вугілля	Кількість проб
Павлоградсько-Петропавлівський	Благодатна	C ₅ Sc ₇	Д	3
	діл. Брагинівська	C ₁₀ Sc ₁₂	Г	6
Красноармійський	ім. О.Г. Стаханова	I ₂ Sl ₂ ¹ L ₇ Sl ₇	ГЖ, Ж	10
	Новгородівська	k ₈ Sl ₁	Г	27
Донецько-Макіївський	ім. О.Ф. Засядька	I ₁ Sl ₂ ¹ L ₁ Sl ₁	Ж, К	14
Алмазно-Мар'ївський	Санжарівська площа	m ₃ SM ₄ m ₆ ² Sm ₆ ³ O ₁ SO ₂	К, ПС, П	21
Загальна кількість:				81
Дослідження закритої пористості в уламкових зернах пісковиків				
Назва геолого-промислового району	Шахта	Індекс пісковика	Марка прилеглого вугілля	Кількість вимірювань
Павлоградсько-Петропавлівський	Благодатна	C ₅ Sc ₇	Д	45
	діл. Брагинівська	C ₁₀ Sc ₁₂	Г	120
Красноармійський	Курахівська	I ₁ Sl ₂	Д,Г	120
	ім. О.Г.Стаханова	I ₂ Sl ₂ ¹ L ₇ Sl ₇	ГЖ, Ж	195
Донецько-Макіївський	ім. О.Ф. Засядька	I ₁ Sl ₂ ¹ L ₁ Sl ₁	Ж, К	180
Алмазно-Мар'ївський	Санжарівська площа	m ₃ SM ₄ m ₆ ² Sm ₆ ³ O ₁ SO ₂	К, ПС, П	495
Довжано-Ровенецький	Ровеньківська	h ₁₀ Sh ₁₁	А	75
Загальна кількість:				1230

На основі виконаних оптичних досліджень закритої пористості в уламкових зернах пісковиків Донбасу розроблена методика визначення об'ємів газових та газорідних включень у кварцових зернах зазначених порід, яка детально описана у підрозділі 5.2.

Для обробки отриманих даних використовувався комплекс методів математичної статистики, зокрема кореляційний та дисперсійний аналізи.

Висновки до Розділу 2. При встановленні показників основних типів пористості важливо враховувати той об'єм закритих мікропор, який знаходиться в зернах порід, у вигляді переважно газових включень. При дослідженні газових включень ефективними є метод просвічуючої електронної мікроскопії, який дозволяє проводити дослідження при збільшенні в 2 000 - 4 000 крат і більше та метод оптичної мікроскопії. Найбільш оптимальним є оптичний метод, який реалізується за допомогою поляризаційного мікроскопу ПОЛАМ Р-111. У якості препаратів використовуються стандартні петрографічні шліфи. Перевагами цього методу є інформативність, економічність та доступність. За допомогою цього методу, при дослідженні шліфів пісковиків в прохідному освітленні, при збільшеннях $1200^{\times}$ із застосуванням імерсійної рідини, вдалося встановити розмір мікропор, їх кількість, форму та об'єм.

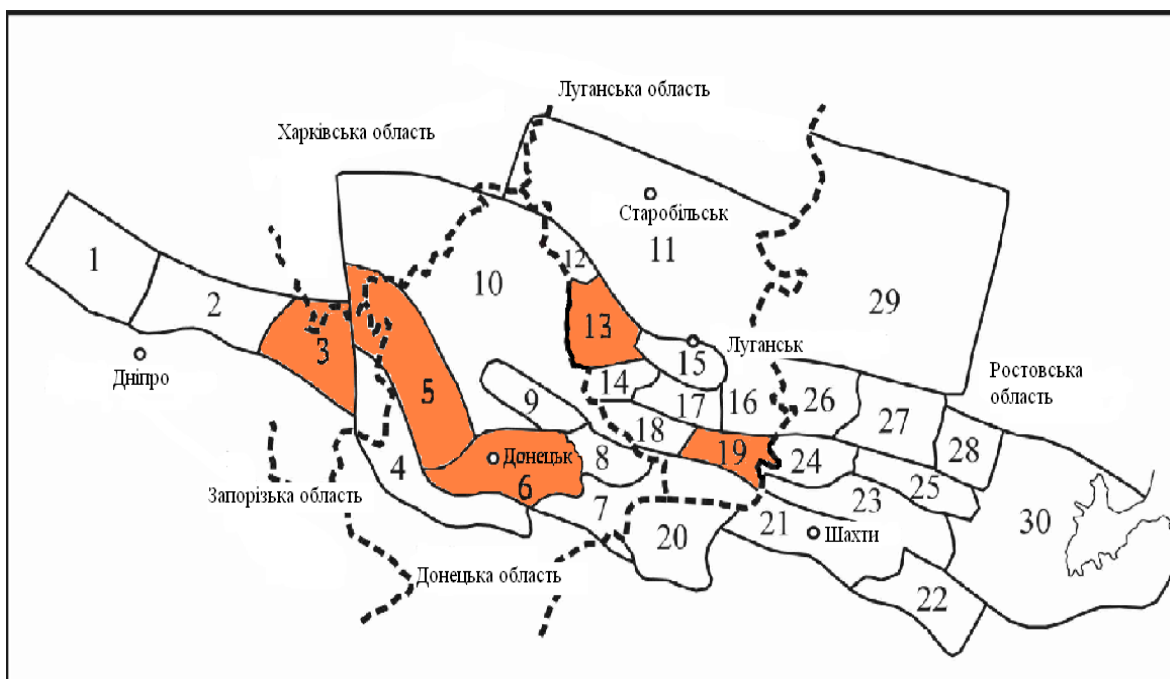
На основі виконаних оптичних досліджень закритої пористості в уламкових зернах пісковиків Донбасу розроблена методика визначення об'ємів газових та газорідних включень у кварцових зернах зазначених порід.

Предметом дослідження стали карбонові пісковики п'яти геолого-промислових районів Донбасу. Це дало можливість провести порівняльний аналіз та встановити закономірності змін в залежності від ступеня перетворення порід від дії вторинних процесів.

РОЗДІЛ 3

ГЕОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

При проведенні досліджень використовувалися проби порід, які були відібрані в наступних геолого-промислових районах Донбасу: Павлоградсько-Петропавлівський, Красноармійський, Алмазно-Мар'ївський, Донецько-Макіївський та Довжано-Ровенецький (рис. 3.1). Підставою для вибору цих районів для дослідження стало те, що вони вміщують породи різних підстадій катагенезу та відрізняються в тектонічному плані.



1 – Петриківсько-Царичанський; 2 – Новомосковський; 3 – **Павлоградсько-Петропавлівський**; 4 – Південно-Донбаський; 5 – **Красноармійський**; 6 – **Донецько-Макіївський**; 7 – Амвросіївський; 8 – Торезько-Сніжнянський; 9 – Центральний; 10 – Північно-Західні околиці Донбасу; 11 – Старобельська площа; 12 – Лисичанський; 13 – **Алмазно-Мар'ївський**; 14 – Селезнівський; 15 – Луганський; 16 – Краснодонський; 17 – Оріхівський; 18 – Боково-Хрустальський; 19 – **Довжано-Ровенецький**; 20 – Миуський; 21 – Шахтинсько-Несвітаєвський; 22 – Задонський; 23 – Сулино-Садкінський; 24 – Гуково-Зверевський; 25 – Краснодонецький; 26 – Каменсько-Гундоровський; 27 – Білокалитвенський; 28 – Тацинський; 29 – Міллеровський; 30 – Цимлянський

Рис. 3.1 Райони дослідження на схемі розташування геолого-промислових районів Донбасу по В.С. Попову [93]

Донецький вугільний басейн розташований на території чотирьох східних областей України (Дніпропетровської, частково Харківської, Донецької, Луганської) та однієї – Ростовської області Російської федерації. Загальна площа басейну 60 тис. км² [93].

Донецький вугільний басейн в геотектонічному плані є політипним утворенням. Основна центральна (складчаста) частина басейну має риси, які є характерними для геосинклінального типу формацій, а бортові частини мають риси субплатформеного типу формацій.

На північному заході Складчастий Донбас межує з Дніпрово-Донецькою западиною (ДДЗ). Межа між ними визначається із зануренням продуктивних вугленосних товщ карбону на глибину понад 1800 м. На сході контур басейну проводиться по лінії виклинювання вугільних пластів внаслідок заміщення вугленосної формації безвугільними флішеподібними відкладами.

Донбас входить до складу Прип'ятсько-Дніпровсько-Донецького палеорифту, який утворився в девоні, в умовах розтягування на південній периферії Східно-Європейської платформи.

В процесі розвитку Донбас змінився від післярифтового синеклізного басейну, який протягом тривалого часу зазнавав компенсаційне прогинання в області седиментації, до компресійної складчастої споруди з наявністю плікативних дислокацій в найбільш зануреній частині басейну [93].

В сучасному структурному плані більша частина басейну є еродованою Донецькою складчастою спорудою, де на рівень ерозійного зрізу виходять зім'яті в складки та порушені підкидами та насувами пізньопалеозойські, переважно кам'яновугільні відклади [94].

3.1 Стратиграфія

В будові Донецького басейну беруть участь потужні товщі палеозойських, мезозойських та кайнозойських відкладів (рис. 3.2). Ці товщі

залягають незгідно і з розмивом на вивержених та метаморфічних породах докембрію [95].

Докембрій є кристалічним фундаментом Донбасу. На південній та південно-західній околиці басейну, породи цього віку частково виходять на поверхню або покриті малопотужним осадовим покривом. На іншій частині басейну вони залягають на великій глибині.

Породи *девону* залягають в південно-західній частині басейну. Вони приурочені до великих тектонічних структур – Південно-Донецького грабену та Стельського горсту [96]. Потужність відкладів коливається від перших десятків метрів до 700 м, а в центральній частині басейну вона сягає 3-5 км. Відклади девону представлені теригенно-карбонатною формацією середнього відділу, теригенно-ефузивною та евапоритовою формаціями верхнього відділу.

Карбон. Для Донецького басейну характерна наявність повного розрізу кам'яновугільної системи (рис. 3.3). Кам'яновугільні відклади поділяються на три відділи: нижній (C_1), середній (C_2) та верхній (C_3), кожен з яких, поділяється на яруси, зони та світи. Максимальна потужність карбону в прогині близько 18 км, на південному заході, в районі Красноармійської монокліналі – 5,2 км.

Нижній карбон (C_1) представлений турнейським, візейським та серпуховським ярусами. Загальна потужність цих відкладів коливається від 1200 до 3200 м. Три яруси поділяються на 4 світи.

Турнейський ярус (C_1^t) представлений вапняками та доломітами з прошарками пісковиків та аргілітів. Відклади турнейського ярусу розповсюджені на півдні басейну, в межах Новомосковсько-Амвросіївської структурно-фаціальної зони (СФЗ), на північному борті ДДЗ і в межах Старобільсько-Міллеровської СФЗ. В центральній частині басейну відклади цього віку залягають на великій глибині [96]. Максимальна потужність ярусу на південному заході 350 м, на півночі – 70 м.

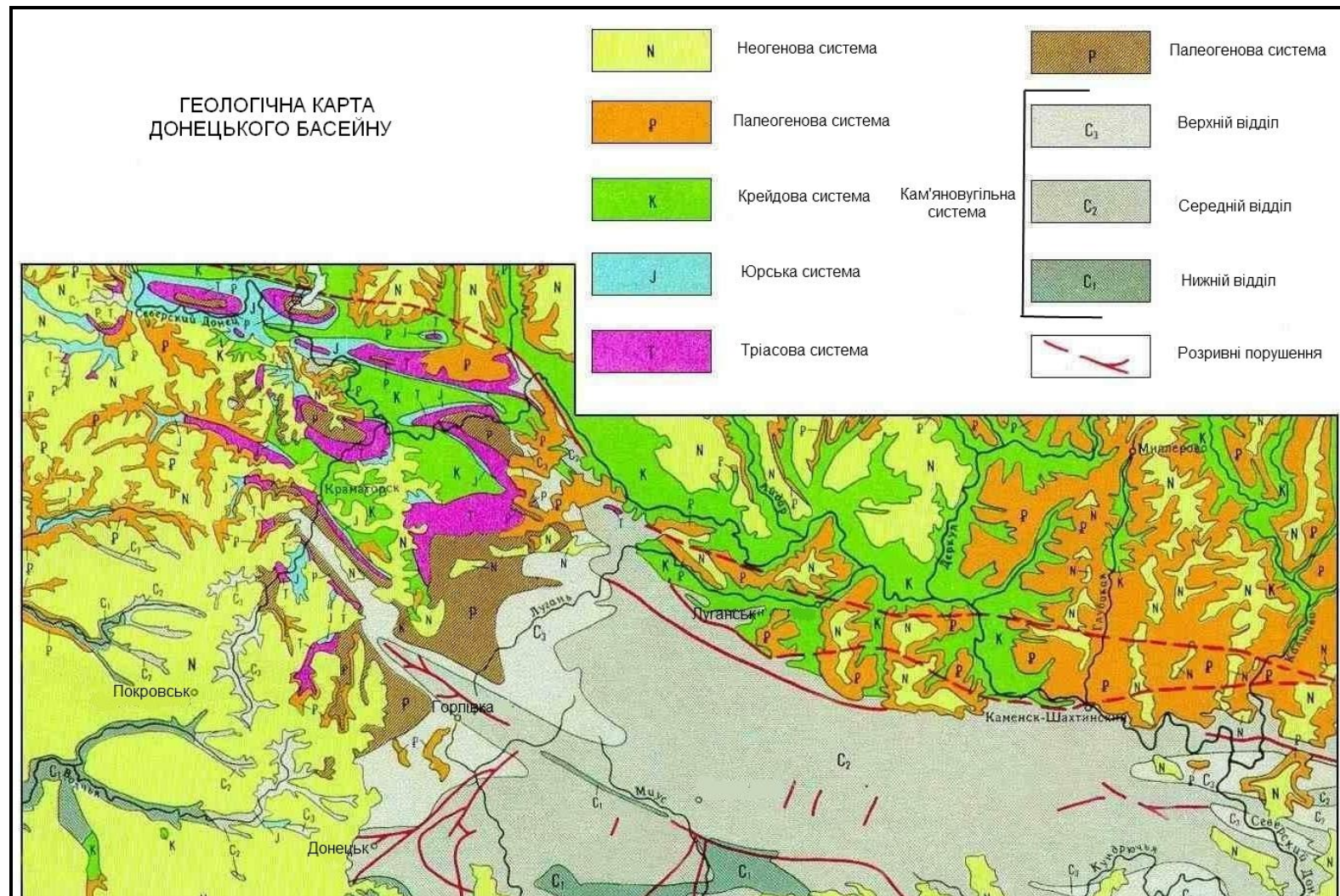


Рис. 3.2 Геологічна карта Донецького басейну [95]

СИСТЕМА	ВІДДІЛ	ВІДДІЛ (глобальна геохронологічна шкала)	ЯРУС	ВІК нижньої границі	ПІДЯРУС	Маркуючий горизонт нижньої границі	СВІТА
КАМ'ЯНОВУГІЛЬНА СИСТЕМА	ВЕРХНІЙ C ₃	Верхній пенсильваній	Гжельський C _{3g}	303.4±0,9		P ₁	Араукаритова C ₃ ³ (P)
			Касимовський C _{3k}	307.2 ± 1		O ₅	Авіловська C ₃ ² (O)
						O ₁	
						N ₄	Ісаївська C ₂₋₃ ¹ (N)
	СЕРЕДНІЙ C ₂	Середній пенсильваній	Московський C _{2m}	311.7 ± 1.1	Верхній	N ₁	
					Нижній	M ₁	Горлівська C ₂ ⁷ (M)
						L ₁	Алмазна C ₂ ⁶ (L)
						K ₃	Каменська C ₂ ⁵ (K)
		Нижній пенсильваній	Башкирський C ₂ ^b	318.1 ± 1.3	Верхній	K ₁	
						I ₁	Білокалитвенська C ₂ ⁴ (I)
						H ₁	Смолянинівська C ₂ ³ (H)
						G ₁	Моспинська C ₂ ² (G)
					Нижній	F ₁	Мандрикінська C ₂ ¹ (F)
						E ₁	Амвросіївська C ₂ ⁰ (E)
						D ₅ ⁸	Кальміуська C ₁₋₂ ⁴ (D)
						D ₁	
	НИЖНІЙ C ₁	Верхній місісипій	Серпуховський C ₁ ^s	328.3 ± 1.6	Верхній	C ₅	Самарська C ₁ ³ (C)
					Нижній	C ₁	
						C ₂	Межівська C ₁ ² (B)
		Середній місісипій	Візейський C ₁ ^v	345.3 ± 2.1	Верхній	B ₁	
		Нижній місісипій	Турнейський C ₁ ^t	359.2 ± 2.5	Нижній	-	Мокроволноваська серія C ₁ ¹ (A)
					Верхній		
					Нижній		

Рис. 3.3 Стратиграфічна схема карбону Донецького басейну [96, 97]

Візейський ярус (C₁^v) містить карбонатну та теригенну товщу потужністю до 1200 м. Теригенна товща залягає на карбонатній зі стратиграфічною незгідністю. З верхньої частини візейського ярусу (світа C₁²) починається вугленосність нижнього карбону. В Західному Донбасі

відклади світи C_1^2 містять до 30 вугільних пластів, які частково сягають робочої потужності.

Серпуховський ярус (C_1^B) на південному заході Донецького басейну представлений аргіліт-алевролітовою товщею з великою кількістю пластів вапняків. Світа C_1^3 , яка відноситься до серпуховського ярусу, є найбільш вугленосною в нижньому карбоні. В цій світі на території Південного та Західного Донбасу зустрічається до 60 вугільних пластів, більша частина з яких має робочу потужність.

Середній карбон (C_2) представлений башкірським та московським ярусами, які поділяються на вісім світ (рис. 3.4). Загальна потужність відкладів середнього карбону коливається в межах 2500-8000 м.

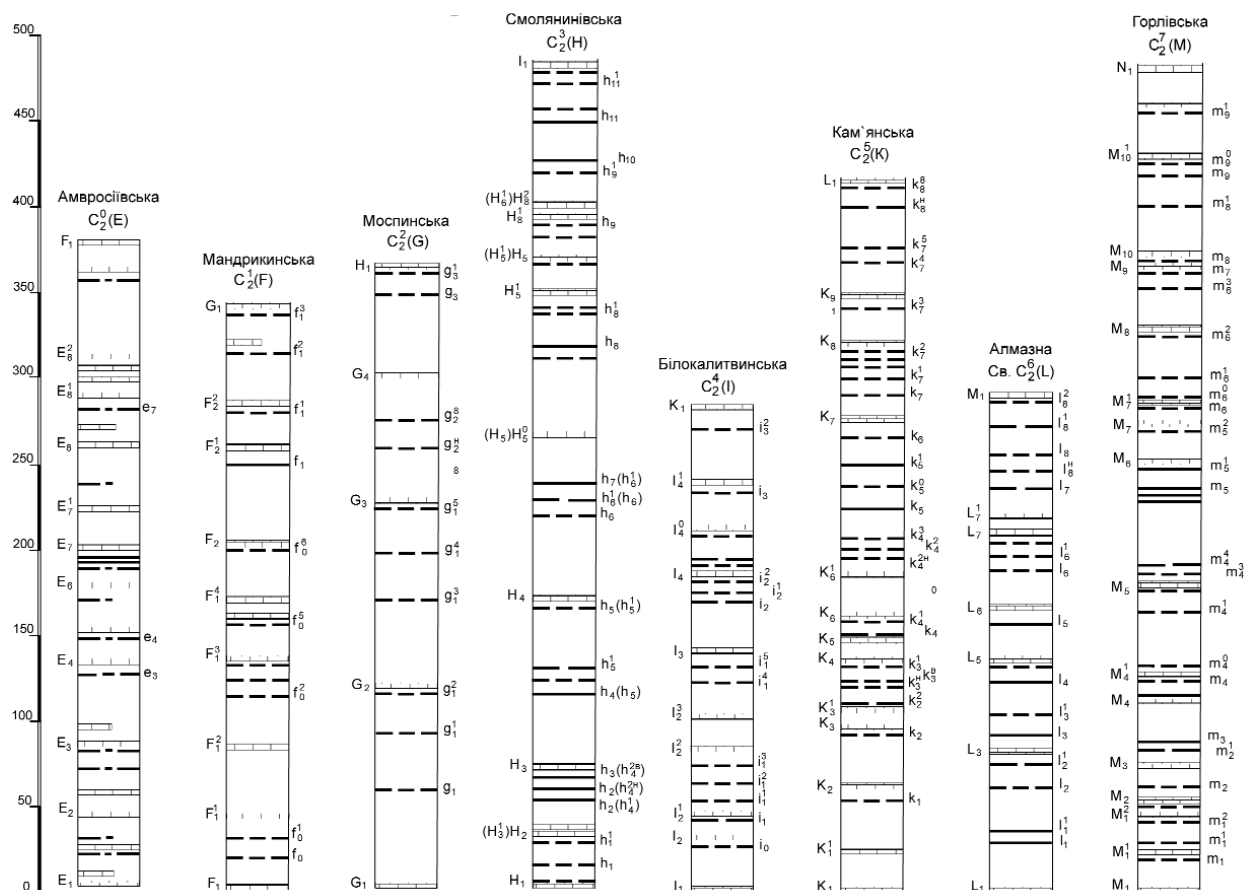


Рис. 3.4 Схематичний стратиграфічний розріз світ середнього карбону Донбасу [96]

Башкирський ярус (C_2^b) містить прибережно-морські аргіліти та алевроліти з малопотужними прошарками вугілля. Потужність сягає 2000-2500 м.

Московський ярус (C_2^m) представлений великою кількістю вугільних пластів, вапняків та олігоміктових пісковиків, які є маркуючими горизонтами разом з вапняками.

Для середнього карбону характерна найбільша вугленосність. Загальна кількість вугільних пластів складає від 75 до 183, з них пластів робочої потужності від 16 до 50.

Верхній карбон (C_3) представлений касимовським, гжельським ярусами. Касимовський та гжельський яруси містять три світи, загальна потужність яких коливається від 600 до 3000 м.

Загалом, верхній карбон містить потужні піщано-глинисті товщі з тонкими прошарками вапняків. Вугільні пласти робочої потужності є тільки в світі C_3^1 .

Пермська система. Відклади пермського віку розповсюджені в Бахмутській та Кальміус-Торецькій улоговинах. В Донбасі пермські відклади представлені нижнім та верхнім відділами. Загальна потужність 1200-1500 м [98].

Нижня перм (P_1) представлена ассельським та сакмарським ярусами.

Ассельський ярус (P_1^a) містить три світи: картамиську, микитівську та слав'янську.

Картамиська світа (мідистих пісковиків), має потужність 400-1100 м та представлена аргілітами, алевролітами та пісковиками. Микитівська світа (гіпсо-доломітова), потужністю 100-250 м, містить піщано-глинисті строкаті відклади з прошарками вапняків та доломітів. Слав'янська (соленосна) світа має потужність 250-610 м та представлена піщано-глинистими строкатими відкладами з маркуючими вапняками та прошарками кам'яної солі потужністю до 50 м.

Сакмарський ярус (P_1^5) містить краматорську світу, яка на 80-85 % представлена кам'яною сіллю з крупнокристалічною структурою червоно-бурого, рідше білого кольору з пластами ангідритів та калійних солей. В підосві світи залягає маркуючий горизонт карбонатних дрібнозернистих пісковиків, алевролітів, аргілітів. Максимальна потужність краматорської світи - 400-530 м (Краматорсько-Часово-Ярська синкліналь) [96].

Тріас. Тріасові відклади розповсюджені в західній, північно-західній та північній частинах Донбасу. Вони представлені двома відділами – нижнім та верхнім [98].

Нижній тріас представлений дронівською та сребрянською світами.

Дронівська світа представлена переважно червоноколірними та блакитно-сірими пісковиками, алевролітами, глинами. Потужність світи 230-420 м.

Сребрянська світа з незгідністю залягає на різних горизонтах розмитої складчастої поверхні палеозою. Відклади представлені різнозернистими пісковиками та червоноколірними глинами. Потужність світи сягає 100-200 м.

Верхній тріас представлений протопівською світою, яка складена відкладами поліміктових пісковиків, строкатих та сірих глин з прошарками бурого вугілля у верхній частині товщі. Потужність відкладів – 110-140 м.

Юра. Юрські відклади в Донбасі представлені трьома відділами. Загалом, вони розповсюджені на північному заході, південному заході та північному сході басейну. Нижня та середня юра представлена морськими глинами, алевролітами та пісковиками. Верхня юра представлена карбонатною формацією, потужність якої сягає 100 м. Загальна потужність відкладів юрського віку в басейні може сягати 800 м [98].

Крейда. Відклади крейдового віку представлені породами нижнього та верхнього відділів.

Нижньокрейдові відклади не дуже добре поширені у басейні. Представлені білими каоліновими пісками, рихлими пісковиками та

вуглистими глинами. Потужність відкладів цього віку коливається від декількох метрів до 70 м.

Верхньокрейдові відклади представлені глауконітовими пісками, спонголітами, крейдою та мергелями. Потужність відкладів близько 140 м.

Палеоген. Відклади палеогенового віку представлені піщано-глинистими породами та залягають на розмитій поверхні всіх розвинених в Донецькому басейні горизонтів палеозою та мезозою [98].

Неоген. Відклади неогену поширені тільки на околицях басейну. Найбільше вони поширені на південних околицях де представлені глинами та пісками, прошарками вапняків та бурого вугілля. Загальна потужність відкладів сягає 290 м.

Четвертинна система. Четвертинні відклади поширені по всій території басейну. Вони представлені елювіальними галечниками, гравієм, різнозернистими пісками, супісками, суглинками. Найбільша потужність четвертинних відкладів характерна для долини ріки Сіверський Донець і складає понад 35-40 м.

Павлоградсько-Петропавлівський геолого-промисловий район розташований в південно-східній частині Західного Донбасу і займає площу 2000 км². На заході він обмежений Новомосковським, на півночі Лозівським та на сході – Красноармійським геолого-промисловими районами .

В геологічній будові району беруть участь породи докембрійського та фанерозойського віку.

Докембрій представлений магматичними, метаморфічними та метасоматичними породами. Глибина залягання цих порід дуже мінлива, та змінюється від 100 м в південно-західній частині району до 10-12 км в північно-східній [98].

На породах докембрію із кутовою та регіональною стратиграфічною незгідністю залягають породи фанерозою, які формують осадочний чохол.

Девонські відклади представлені аркозовими пісковиками, аргілітами та доломітизованими вапняками з тонкими прошарками монтморілонітових

глин. Потужність відкладів зменшується у західному напрямку від 15-20 м до 3-5 м і повністю виклинюються в районі м. Новомосковська.

Кам'яновугільні відклади представлені світами нижнього, середнього та верхнього відділів.

Нижній відділ карбону представлений турнейським, візейським та серпуховським ярусами і поділяється на мокроволноваську серію C_1^1 (A), межівську C_1^2 (B), самарську C_1^3 (C) і кальміуську C_{1-2}^4 (D) світи [99].

Серія C_1^1 (*Мокроволноваська*) перекриває утворення докембрію або відклади новотроїцької світи верхнього девону. Верхня границя серії представлена вапняком B_1 , який залягає вище за розрізом. Біля границі з Українським кристалічним щитом породи мокроволноваської серії виходять на поверхню. Загальна потужність серії становить 210-280 м.

Світа C_1^2 (*Межівська*) представлена морськими глинисто-алевролітовими відкладами з прошарками пісковика і малопотужними вапняками. Також в будові світи беруть участь континентальні відклади, до яких відносяться вугільні пласти, аргіліти і алювіальні пісковики. Загальна потужність світи в межах території зменшується в північно-західному напрямку від 510 м до 290 метрів.

Світа C_1^3 (*Самарська*) є основною вугленосною товщею, яка містить до 70 вугільних пластів та прошарків, з яких 20 мають робочу потужність. Також в будові світи беруть участь аргіліти, алевроліти, пісковики, вапняки. Потужність світи сягає 800 м і вона є найбільш вугленосною у районі. Її нижня границя проводиться по підшві вапняку C_1 , верхня – по підшві вапняку D_1 кальміуської світи, яка залягає вище за розрізом [100].

Світа C_{1-2}^4 (*Кальміуська*) характеризується перевагою морських відкладів над континентальними. У верхній частині світи залягають потужні товщі вапняків. Також у будові світи беруть участь аргіліти, алевроліти, пісковики та вугілля. Загальна потужність в Петропавлівському районі складає 210-580 м.

Відклади середнього відділу карбону представлені в повному обсязі тільки в північно-східній частині району. Вони представлені башкирським та московським ярусами. Середній відділ поділяється на 8 світ: амвросіївську – C_2^0 (E), мандрикинську – C_2^1 (F), моспинську – C_2^2 (G), смолянинівську – C_2^3 (H), білокалитвинську – C_2^4 (I), кам'янську – C_2^5 (K), алмазну – C_2^6 (L) та горлівську – C_2^7 (M) [99]. Відклади представлені теригенними породами з домінуванням вапняків та вугілля. Потужність відкладів сягає 1750 м.

Верхньокам'яновугільні відклади в межах району представлені авіловською світою касимівського ярусу, яка сягає потужності 720-760 м. В будові світи беруть участь пісковики з червоноколірними глинистими прошарками у верхній частині розрізу [98].

На різновікових утвореннях кам'яновугільних відкладів з великою стратиграфічною і кутовою незгідністю залягають мезозойські відклади, які представлені тріасовою і юрською системами. Ці відклади розповсюджені тільки у північній частині району та їх потужність складає 600-700 м.

Відклади кайнозою залягають із значною стратиграфічною і кутовою незгідністю на еродованій поверхні кам'яновугільних, мезозойських і докембрійських порід. Вони представлені палеогеновою, неогеновою та четвертинною системами. В південно-західній частині території вони залягають на вивітрилих породах докембрію з потужністю від декількох метрів до 100 м. У північно-східній частині території вони залягають на різновікових відкладах карбону та мезозою з потужністю до 140-160 м.

Красноармійський геолого-промисловий район розташований в південно-західній частині Донецького басейну і займає площу близько 3700 км².

В геологічній будові району беруть участь кам'яновугільні відклади, які майже по всій площі перекриті молодими осадами. На півдні та в центрі району кам'яновугільні відклади перекриті тільки породами кайнозойського віку, потужністю 20-50 м, на півночі, окрім кайнозойських, також присутні тріасові (до 190 м) та юрські (до 300 м) відклади, у зв'язку з чим їх сумарна

потужність поступово збільшується у північно-східному напрямку та досягає в північній частині району 520 м [101].

Кам'яновугільні відклади представлені світами нижнього, середнього та верхнього відділів.

Світа C_1^1 залягає на розмитій поверхні докембрію та представлена потужною товщею вапняків (до 200 м) турнейського та візейського ярусів.

Світа C_1^2 представлена аргіліт-алевролітовими породами, які чергуються з пропластками вапняків та численними малопотужними шарами пісковиків. В верхній частині світи присутні малочисельні вугільні пласти та пропластки. Потужність світи коливається від 42 до 480 м.

Світа C_1^3 містить 40 вугільних пластів та пропластків. У верхній частині світи присутні 5-6 шарів вапняків. Загалом світа характеризується чергуванням порід аргіліт-алевролітового складу потужністю від 540 до 770 м.

Світа C_1^4 характеризується різким зменшенням вугільних пластів та пропластків. З 9 вугільних пластів робочої потужності досягають тільки пласти d_4 та d_3 та на окремих ділянках - d_4^1 та d_6^1 . У верхній частині світи залягають пісковики та алевроліти, які вміщують вугільні пласти. Потужність світи збільшується у східному напрямку з 590 до 810 м.

Світа C_1^5 в нижній частині вміщує аргіліт-алевролітові породи, у верхній частині – пісковики. Загалом нараховується 18-20 вугільних пластів та пропластків, але не один з них не досягає робочої потужності. Потужність світи 400 м.

Світа C_2^1 містить в собі 10-12 пластів вапняків, які відіграють значну роль в розрізі світи. Вони вказують на помітний вплив морських умов осадкоутворення, що є характерною особливістю цієї світи. Товща пісковиків потужністю до 25-30 м простежується на більшій частині площі району і залягає у підшві пласта f_1 .

Світа C_2^2 характеризується відсутністю витриманих карбонатних горизонтів. Пласти вугілля і пісковиків в цій світі не витримані за

потужністю. Маркуючими горизонтами є три потужні товщі аргілітів, які залягають в покрівлі вапняку G_{11} і над вугільними пластами g_1 і g_2 .

Світу C_2^3 складають дуже потужні товщі алювіальних пісковиків, які поширені на значних площах і залягають на розмитій поверхні підстелюючих осадків. Вапняки переважно глинисті і нестійкі за потужністю. Загальна кількість вугільних пластів - 10, з них 7 робочих.

Світа C_2^4 характеризується слабким вугленасиченням на відміну від пісковиків, які займають 34 % всієї світи. Також у розрізі присутні вапняки. Одним з найбільш яскравих є пласт вапняку l_1 з багатою фауною форамініфер.

Світа C_2^5 містить значну кількість пісковиків у своїй нижній частині. Середня частина світи має велику кількість вугільних пластів і пропластків, різної потужності та будови. У верхній частині світи, над вапняком K_6 та K_7 залягають товщі морських аргілітів потужністю 15-20 м з карбонатними конкреціями.

Світа C_2^6 є найбільш продуктивною. Загальна кількість вугільних пластів і пропластків – 13, з них 11 робочих. Нижньою та верхньою границями світи є потужні вапняки L_1 та M_1 , загальною потужністю 2-5 м. Середня частина світи, з групою робочих вугільних пластів l_3^1 – l_8 , характеризується частою зміною алевролітових та глинистих порід, які заміщуються у верхній частині світи дрібнозернистими пісковиками.

Світа C_2^7 також є однією з найбільш вугленосних у районі. На відміну від світи C_2^6 вона вміщує більше пісковиків. Потужні пласти пісковиків (30-70 м), від дрібно- до крупнозернистих, залягають у верхній, середній та нижній частині світи.

Світа C_3^1 характеризується невеликою кількістю пісковиків на відміну від світи C_2^7 . В нижній частині світи залягають невеликі за потужністю (0,05-0,3 м) пропластки вапняків, аргіліти, алевроліти та пісковики. В північній частині району в цій товщі залягає вугільний пласт p_0^3 , потужність якого в деяких місцях може досягати 0,45 м. Також в світі є декілька вугільних

пластів, які досягають робочої потужності на невеликій площі в південній частині району.

Відклади мезозою представлені тріасовою і юрською системами. Мезозойські відклади розвинені в північній частині Красноармійського району, де вони покривають породи карбону з кутовою незгідністю. Потужність відкладів мезозою збільшується поступово на північ по мірі занурення поверхні карбону і досягає 500 м у північній частині району.

Відклади тріасу представлені глинами і пісковиками. Пісковики світлі від дрібно- до грубозернистих, слабо зцементовані, карбонатні, з великою кількістю глинистого цементу, залягають в нижній частині товщі. Потужність тріасових відкладів до 190 м.

На відкладах тріасу з незгідністю залягають сірокольорові континентальні відклади новорайської світи J_1^{1+2} , в якій зустрічаються один – два пласти бурого вугілля потужністю 0,6-0,8 м. Відклади новорайської світи перекривають переважно глинисті морські осадки тоарського та аленського ярусів. Сумарна потужність юрських відкладів досягає 150 м, а на півночі району, де з'являються відклади байоса, навіть 300 м.

Палеогенові відклади залягають на породах карбону або мезозою з кутовою незгідністю. Вони представлені кварцовими пісками, опоковидними і глауконітовими глинами бучакського і київського ярусів еоцену, харківського ярусу олігоцену, полтавської світи.

Неогенові відклади місцями зустрічаються в західній та південно-західній частинах району у вигляді сірих та зелених гіпсоносних глин і пісків сарматського ярусу.

Четвертинні відклади покривають всю площу району. Вони представлені червоно-бурими глинами і лесоподібними суглинками потужністю близько 10-20 м, яка місцями збільшується до 50 м.

Алмазно-Мар'ївський геолого-промисловий район представлений кам'яновугільними, пермськими, крейдовими, палеогеновими та четвертинними відкладами [101].

Кам'яновугільна система представлена світами C_2^1 - C_2^7 середнього відділу та C_3^1 - C_3^3 верхнього відділу.

Світа C_2^1 розкрита поодинокими свердловинами, потужність близько 60 м. В будові беруть участь аргіліти та алевроліти.

Світа C_2^2 також розкрита поодинокими свердловинами. В будові світи беруть участь дрібно- та середньозернисті пісковики. Іноді, між пластами вапняків G_1 та G_2 виділяються досить потужні шари пісковиків, потужність яких сягає 40 м.

Світа C_2^3 виходить на поверхню уздовж Мар'ївського насуву. Світа містить від 17 до 20 вугільних пластів, з яких 6 мають робочу потужність. Також для світи характерні потужні товщі пісковиків (60-70 м). В якості маркуючого горизонту виступає пісковик $H_5^0SH_6^1$ (першинський), потужність якого складає 100 м.

Світа C_2^4 характеризується відсутністю грубозернистих пісковиків та містить тільки один вугільний пласт, який місцями має робочу потужність. В якості маркуючих горизонтів виступають вапняки I_1, I_2, I_3, I_4 .

Світа C_2^5 є однією з найбільш продуктивних у районі. Вона містить 24 вугільних пласта, з яких найбільш потужними є $k_8+k_8^B, k_8^H, k_7+k_7^B, k_6, k_3^1$. Також в світі широко поширені дрібно- та середньозернисті пісковики, серед яких іноді зустрічаються горизонти грубозернистих пісковиків. В основі залягає вапняк K_1 , потужність якого коливається від 0,18 до 3,91 м.

Світа C_2^6 характеризується мінливістю літологічного складу. Вона містить до 20 вугільних пластів, з яких 10 мають робочу потужність. Маркуючими горизонтами виступають вапняки L_1, L_2 , та L_7 .

Світа C_2^7 виходить на поверхню на більшій території району і тільки в північно-східній частині перекрита молодшими відкладами мезокайнозою. Характеризується наявністю потужних вапняків (до 8-10 м), домінуванням аргілітів та алевролітів у нижній частині світи та пісковиків у верхній частині. Світа містить 16 вугільних пластів, з яких тільки один (m_3) має робочу потужність.

Світа C_3^1 на значній площі перекрита осадами палеогену. Містить 13 вугільних пластів, але жоден з них не має робочої потужності. Маркуючим горизонтом виступає вапняк M_1 потужність якого складає 2-10 м. Особливістю вапняку M_1 є наявність великої кількості фауни.

Світа C_3^2 нараховує до 14 прошарків і пластів вугілля, більшість з яких не мають робочу потужність. Маркуючими горизонтами є вапняки O_1-O_6 .

Світа C_3^3 містить пісковики з уламками араукоритів. В нижній частині світи переважає сіре забарвлення глинистих та піщано-глинистих порід. Також до цієї частини відносяться вапняки P_1-P_4 з багатою фауною форамініфер і брахіопод.

Пермські відклади поширені в західній частині району. Представлені трьома світами нижнього відділу – картамишською, потужністю до 500 м, микитівською, потужністю до 200 м та артемівською, потужність якої складає 400 м.

Верхньокрейдяні відклади залягають трансгресивно на кам'яновугільних та поширені в північно-східній частині району за Мар'ївським насувом. Потужність цих відкладів коливається від 200 до 520 м.

Палеогенові та неогенові відклади поширені в північній частині району і залягають на розмитих поверхнях карбону та верхньої крейди. Загальна потужність відкладів в районі коливається від 60 до 80 м. Відклади представлені мерелями, пісковиками, алевролітами та пісками.

Четвертинні відклади представлені лесоподібними суглинками, потужністю до 20-30 м.

Санжарівська площа. В геологічній будові площі беруть участь відклади середнього (світи C_2^6 та C_2^7) та верхнього (світи C_3^1 та C_3^2) відділів кам'яновугільної системи, а також породи четвертинного віку.

Світа C_2^6 має середню потужність 610 м та характеризується підвищеним вмістом пісковиків у розрізі. Маркуючими горизонтами є вапняки $L_1, L_2, L_4, L_5, L_6, L_7$. Світа вміщує до 24 вугільних пластів, 8 з яких мають робочу потужність ($l_1^1, l_2^1, l_3, l_4^6, l_5, l_6^B, l_7, l_8$).

Світа C_2^7 має середню потужність 578 м. Представлена алевролітами, аргілітами, пісковиками та потужними вапняками (8-10 м), а також пропластками вугілля. Маркуючими горизонтами є вапняки $M_1, M_2, M_3, M_4, M_5, M_6, M_{10}$. Світа вміщує до 24 вугільних пластів, 9 з яких сягають робочої потужності ($m_2, m_3, m_4, m_4^3, m_5, m_5^1, m_6^1, m_6^2, m_7$).

Світа C_3^1 має робочу потужність 865 м. Представлена алевролітами та аргілітами. Маркуючими горизонтами є вапняки – $N_1, N_2, N_2^1, N_3, N_4$. Світа вміщує 13 вугільних пластів, з яких жоден не має промислового значення.

Відклади світи C_3^2 розвинені в західній частині площі. Максимальна потужність світи складає 510 м. Світа представлена алевролітами, менше поширені пісковики, вапняки та вугілля. Основними маркуючими горизонтами є вапняки – $O_1, O_2, O_3, O_4, O_5, O_6$. Пласти вугілля робочої потужності у межах площі не розкриті.

Донецько-Макіївський геолого-промисловий район представлений відкладами середнього та верхнього карбону, які майже по всій площі перекриті четвертинними та частково палеогеновими відкладами. В західній частині району залягають породи юрського та крейдового віку [101].

Відклади середнього карбону згідно залягають на відкладах нижнього карбону та представляють безперервний розріз башкирського та московського ярусів від світи C_2^1 до світи C_2^7 .

Світа C_2^1 представлена вапняками, пластами та пропластками вугілля, загальна кількість яких 5-8, з них 1-2 досягають робочої потужності. Потужність світи в середньому складає 285 м.

Світа C_2^2 представлена вапняками, пісковиками, аргілітами, вугіллям. Світа містить 10-12 вугільних пластів з яких промислове значення має тільки один – g^2 . Потужність світи в середньому складає приблизно 450 м.

Світа C_2^3 є однією з найбільш продуктивних у басейні. Вміщує від 17 до 22 пластів вугілля робочої потужності. Також відклади представлені потужними товщами часто грубозернистих пісковиків, які в середньому складають 28 % в розрізі світи. Потужність світи в середньому складає 285 м.

Світа C_2^4 переважно представлена аргіліт-алевролітовими породами де майже повністю відсутні крупнозернисті пісковики та пласти вугілля робочої потужності. Середня потужність світи 260 м.

Світа C_2^5 представлена вапняками, пісковиками та вугіллям. У складі світи 10 шарів вапняків та до 28 пластів та пропластків вугілля, з яких 5-6 досягають робочої потужності. Потужність світи в середньому складає близько 400 м.

Світа C_2^6 вміщує тільки 4 шари вапняків і 16 пластів та пропластків вугілля, з яких більшість має робочу потужність. Пісковики складають до 40 % світи. Потужність світи в середньому 265 м.

Світа C_2^7 вміщує пісковики, 10 шарів вапняку і до 24 вугільних пластів та пропластків, з яких найбільше значення має пласт m_3 – «Макіївський». Середня потужність світи 470 м.

Верхній карбон представлений потужними піщано-глинистими відкладами загальною потужністю від 1300 до 2540 м.

Світа C_3^1 характеризується вмістом аргілітів, алевролітів, пісковиків, вапняків та вугілля. Пісковики складають 20-36 % і розвинені переважно в верхній частині світи. З 10-16 вугільних прошарків робочої потужності сягає тільки пласт p_1 – «Бутовський». Потужність світи в середньому складає 470 м.

Світа C_3^2 вміщує потужні товщі крупнозернистих пісковиків, в яких зустрічаються араукаріти, та товщі вапняків. Вміст пісковиків в світі збільшується до 35-54 %, вугільних прошарків нараховується до 12 і всі вони робочої потужності. Потужність світи близько 1000 м.

Світа C_3^3 – в нижній частині характеризується наявністю пісковиків, які складають 40-45 %, з уламками араукарітів, та появою потужних товщ червоноколірних глинистих порід у верхній частині світи. Середня потужність світи 900 м.

Мезозойські відклади в крайній західній частині району залягають на розмитій поверхні карбону з кутовою незгідністю. Ці відклади слабо

дислоковані, представлені породами нижньоюрського і верхньокрейдового віку.

Юрські відклади представлені пісковиками, конгломератами, іноді зустрічаються вуглисті піщано-глинисті прошарки, лінзи, конкреції сидеритів, а також прошарки глинистих слабодоломітизованих вапняків.

Верхньокрейдяні осадки представлені глауконітовими пісками з окремими конкреціями фосфоритів, спонголітів, які у верхній частині змінюються крейдою і товщею мергелів з кременистими стягненнями.

Відклади палеогену і неогену залягають на розмитій поверхні мезозойських та палеозойських порід з кутовою незгідністю на півночі і заході району. Достовірно виділяють породи харківського ярусу і полтавської світи.

Харківський ярус складається з глауконітових пісків, зелених глин, місцями опок.

Полтавська світа представлена білими і жовтими тонкозернистим пісками, іноді з прошарками глин.

Четвертинні відклади представлені червоними глинами, жовто-бурими лесоподібними суглинками, які покривають майже всю площу району. Алювіальні відклади представлені гравієм, галькою, пісками та мулами.

Довжано-Ровенецький геолого-промисловий район знаходиться в центральній частині Донбасу і займає площу близько 1000 км².

Район представлений осадовими породами кам'яновугільного, неогенового і четвертинного віку [98].

Карбон охоплює всі світи середнього відділу.

Світи C_2^1 та C_2^2 в районі не достатньо досліджені через відсутність вугільних пластів і як наслідок – промислового інтересу. Складені вони переважно аргілітами з малопотужними прошарками дрібнозернистих пісковиків.

Світа C_2^3 представлена прошарками аргілітів, алевролітів і потужних пісковиків. Потужність аргілітів досягає 30-50, а іноді 80-90 м. У світі

налічується до 8 пластів вапняків і 24 вугільних пласта. Вапняки мають невелику потужність (до 0,5 м), непостійні по площі, часто глинисті. З 24 пластів і пропластків вугілля, 15 перевищують потужність 0,3 м.

Світа C_2^4 - відрізняється значним вмістом аргілітів і майже повною відсутністю грубозернистих пісковиків. Складається з 7 вугільних пластів, три з яких досягають робочої потужності, та 7 пластів вапняків потужністю 1,5-2,0 м.

Світа C_2^5 вміщує 23 вугільних пласта і пропластка, 11 з яких досягають робочої потужності. З 15 вапняків потужністю 1,5 - 2,0 м, вапняк K_8 досягає потужності 4 м. Досить розвинені грубозернисті пісковики, які часто виступають маркуючими горизонтами K_1Sk_1 «Табачковий» та $K_9Sk_7^4$ «Рубіжний».

Світа C_2^6 поширена в східній частині району. Особливістю світи є фаціальна невитриманість порід, які вона містить: перехід дрібнозернистих пісковиків в алевроліти, а алевролітів в аргіліти. Світа має 12 пластів вапняків потужністю до 3-4 м і до 17 пластів вугілля, з яких 3 робочої потужності.

Світа C_2^7 вміщує потужні пласти вапняків (7-10 м), загальна кількість яких досягає 11, а також 9 вугільних пластів, які не мають промислового значення.

Неогенові відклади (N_1) переважають у східній частині району і мають обмежений розвиток. Представлені глинами і глинистими пісками загальною потужністю до 20 м.

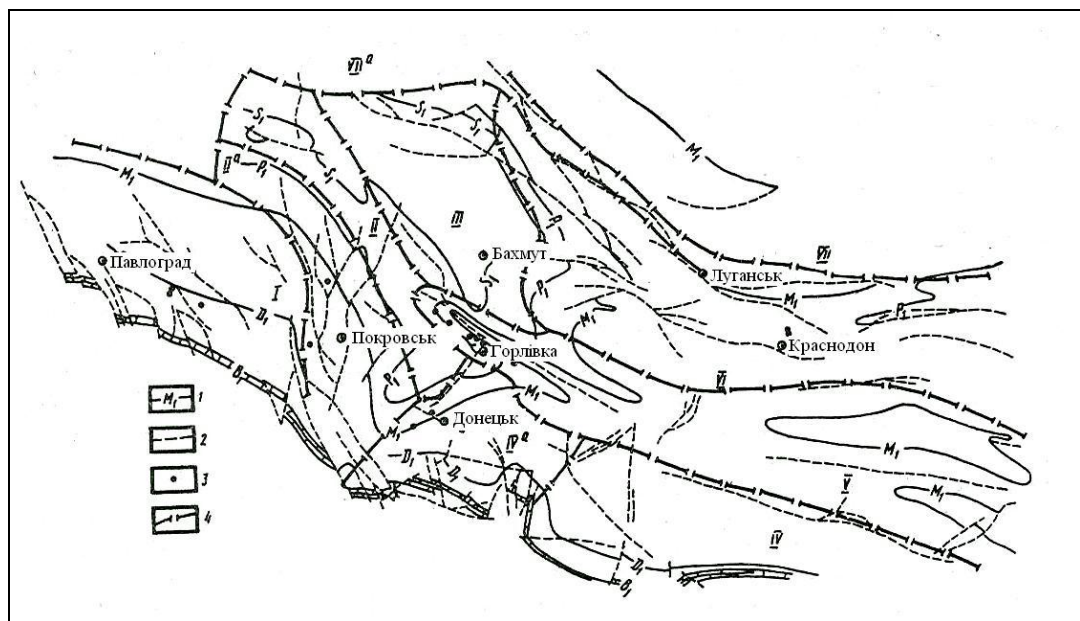
Четвертинні відклади покривають майже всю площу району і представлені лесоподібними суглинками. Потужність відкладів до 30 м.

3.2 Тектоніка

Основні складчасті та розривні структури Донецького басейну були утворені в заальську та пфальцьську фази тектогенезу. Надалі, при

кимерійських, ларамійських та саввських рухах, вони неодноразово поновлювалися та посилювалися. Інтенсивність кимерійських фаз чіткіше проявилася в західній частині басейну в Бахмутській та Кальміус-Торецькій улоговинах. В період підйому (заальська фаза) вугленосні відклади Центрального геолого-промислового району Донбасу зазнали максимальної напруги у порівнянні з другими районами. Зниження палеотиску до периферійних зон басейну відобразилося в меншій тектонічній дислокованості цих зон, майже симетрично розташованих відносно Головної антикліналі.

В тектонічному плані Донбас є крупним синклінієм, ускладненим системою складок, які витягнуті в західно-північно-західному напрямку (рис. 3.4).



1 - виходи граничних вапняків на поверхню карбону; 2 - тектонічні порушення; 3 - шахти; 4 межі структурних зон по В.С. Попову [93]:

I - Новомосковсько-Петропавлівська монокліналь; II - Кальміус-Торецька улоговина; III - Бахмутська улоговина; IV - південна зона дрібної складчастості; IVa - підзона поперечних дислокацій; V - зона великих лінійних складок; VI - північна зона дрібних складок; VII - Старобільсько-Міллеровська монокліналь; VIIa - підзона великих брахіантиклінальних піднятиїв

Рис. 3.5 Геолого-структурна схема Донецького басейну [93]

Вся площа складчастого Донбасу поділяється на наступні тектонічні блоки [82]:

- 1) Центральна частина, яка зайнята великими лінійними складками;
- 2) Північна частина дрібної складчастості та насувів;
- 3) Бахмутська та Кальміус-Торецька улоговини;
- 4) Південна зона дрібної складчастості та насувів.

Центральна частина містить три головні структури, які простягаються вздовж всього басейну. До них відноситься Головна антикліналь, на північ від неї – Головна синкліналь і на південь – Південна синкліналь. Ровенецьке підняття відокремило західну частину синкліналей від східної. Завдяки цьому в Головній синкліналі утворилися Боково-Хрустальська та Довжано-Садкінська структури, в Південній синкліналі – Сніжнянська та Шахтинсько-Несвітаєвська [94].

Північна зона дрібної складчастості охоплює всі складки та насуви, які простежуються від Ковпаківської антикліналі до Северодонецького насуву. На сході розвинені великі синкліналі. На заході виражені брахіантикліналі та система дрібних складок, які поступово занурюються в Бахмутську улоговину. В місцях занурення також зближуються насуви, що вказує на спільність складчастої і розривної тектоніки.

Бахмутська та Кальміус-Торецька улоговини є основними складчастими структурами північно-західної частини Донецького басейну. Бахмутська улоговина ускладнена чисельними брахіструктурами та куполами на відміну від Кальміус-Торецької улоговини, для якої характерна простіша будова. На південному сході Кальміус-Торецької улоговини присутня Вовчанська брахісинкліналь, яка розташована перпендикулярно до простягання основної складчастості басейну. Бахмутська та Кальміус-Торецька улоговини розділені системою антикліналей, однією з яких є найбільша складчаста структура північно-західної околиці Донбасу – Дружківсько-Костянтинівська антикліналь [94].

Південна зона дрібної складчастості відокремлена від Південної синкліналі Зуївською та Куйбишевсько-Несвітаєвською антикліналями. На півдні вона межує з зоною блокових структур, яка розвинена в породах нижнього карбону. На заході південні складки зустрічаються з діагональними крутими флексурами Кальміус-Торецької улоговини, які виділяються в самостійну зону поперечних дислокацій [94].

В Донецькому басейні дуже поширені розривні дислокації. Найбільш поширеними є насуви, скиди та підкиди.

Насуви широко розповсюджені в північній та південній зонах малої складчастості. Зміщувачі на $15-20^\circ$ залягають крутіше за крила складок. Амплітуда зміщення змінюється від декількох десятків сантиметрів до сотні метрів. Найбільшими в Донбасі є Центральний, Селидівський, Французький, Італійський, Алмазний та інші насуви. Формування насувів найбільше відбувалося на завершальних стадіях герцинського складкоутворення [83].

Регіональні розриви поширені в прибортових зонах Донбасу. Найбільшими є Сєверодонецький, Мар'ївський, Глибоківський, Мушкетівський та ін. Вони простягаються на 50-100 км та відділяють складчасту частину басейну від його моноклінальних бортів. Амплітуда зміщення сягає 1-2 км, зміщувачі під кутом $40-70^\circ$ занурюються в напрямку центральної частини синклінорію.

Скиди та підкиди поширені в зоні Ровенецького поперечного підняття, північного та південного моноклінальних бортів басейну. Їх формування пов'язане з постседиментаційним утворенням Ровенецького підняття. Амплітуди зміщення сягають перших метрів.

Павлоградсько-Петропавлівський геолого-промисловий район розташований в південно-східній частині Західного Донбасу. Він витягнутий в північно-західному напрямку на 100 км по простяганню, при ширині нижньокарбонівих вугленосних відкладів 20 км, і займає площу 2000 км^2 .

Головною тектонічною структурою осадового чохла Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району є обширна

Новомосковсько-Петропавлівська монокліналь [98]. Вона розбита скидами з крутим падінням, переважно північно-західного простягання і падінням зміщувачів як на південний захід, так і на північний схід. По цим скидам монокліналь розділяється на блоки другого порядку, які представляють собою структури типу горстів і грабенів. В межах монокліналі відсутня інтенсивна лінійна складчастість, яка розвинута на більшій частині території ДДЗ. Їй притаманні тільки антиклінальні складки штампового і прирозломного типів. Складки штампового типу, до яких відносяться сундучні симетричні і асиметричні пологі брахіскладки і куполоподібні підняття, які утворились внаслідок вертикальних рухів блоків фундаменту, виявлені гірничими виробками і свердловинами в Павлоградсько-Петропавлівському геолого-промисловому районі поблизу Богданівського розлому.

На даний час відсутня загальна класифікація розривних порушень в межах Західного Донбасу, в тому числі Новомосковсько-Петропавлівської монокліналі. За найбільш поширеною, згідно узагальнюючих робіт по Західному Донбасу класифікації розломів за морфологічними ознаками, виділяються наступні п'ять груп: крайові, крупні (міжблокові), середні (внутрішньоблокові), дрібні (оперяючі) і мікроскиди [98].

Красноармійський геолого-промисловий район розташований в межах монокліналі південно-західного крила Кальміус-Торецької улоговини. Основне простягання порід північно-західне, в південній частині району має меридіональний напрямок, що пов'язано з невеликим плавним дугоподібним вигином. Напрямок падіння порід відповідно змінюється від східного на півдні до північно-східного в центральній і північній частинах району. Падіння порід пологі, кути падіння зазвичай від 3-4 ° до 12-15 ° [101].

Монокліналь Красноармійського району відноситься до великих структурних елементів Донбасу. Додаткові складки другого порядку отримали тут незначний розвиток. Абсолютно нетипова для району

структура – Вовчанський купол у висячому крилі Селідівського насуву та широтна Новоградівська флексура.

Основними порушеннями в районі є насиви субмеридіонального напрямку: Селідівський, Центральний, Красноармійський, Самарський. Всі вони перетинають породи карбону в діагональному напрямку по відношенню до простягання порід і мають ряд спільних рис: падіння зміщувача досить полого на схід, кути падіння 20-40 °, вертикальні амплітуди головних насувів 150-300 м [101].

Всі перераховані вище порушення в північному напрямку дугоподібно відхиляються на північний схід, віддаляючись одне від одного. Також з'являються додаткові апофізи, з-поміж яких найбільшими є Мерцалівський, Добропільський і Криворізький. У південному напрямку спостерігається зближення насувів і послідовне їх з'єднання.

Крім системи насувів в Красноармійському районі виявлено кілька порушень типу скидів і дрібноамплітудних розривів. До скидів відносяться: Добропільський, Новоградівський, Криворізько-Павлівський, за яким В.С. Попов [93] провів західний кордон складчастого Донбасу.

В межах основних вугленосних світ C_2^5 - C_2^7 , між згаданими вище головними субмеридіональними насувами, розташовані великі блоки, які мають 10-30 км по простягання і не ускладнені розривними дислокаціями.

Алмазно-Мар'ївський геолого-промисловий район розташований в Північній зоні дрібної складчастості Донбасу та пов'язаний з Калинівською синкліналлю, яка ускладнює північно-східний борт Бахмутської улоговини. На півночі район обмежується Первомайською антикліналлю, на півдні – Анненською (Алчевською) антикліналлю. Між ними залягає велика Калинівська синкліналь II порядку, яка ускладнена асиметричними складками III та IV порядків, які порушені розривами. Найбільші розриви визначають тектонічну позицію району. Ними є Алмазний, Головний Ірминський, Ільчевський, Калинівський, Краснопольський Північний та ін.

насуви зі стратиграфічними амплітудами від декількох десятків до сотень метрів [101].

Основні вугленосні світи району – C_2^5 - C_2^7 залягають у висячому крилі Мар'ївського насуву. Вони зібрані в складну асиметричну Голубівсько-Мар'ївську синкліналь довжиною 28 км та шириною 10 км. Північне крило синкліналі ускладнено додатковими складками – Горською синкліналлю, Карбонітською антикліналлю та пологою Золотовською синкліналлю. Всі ці складки занурюються на захід та згасають. В південно-східній частині північного крила Голубівсько-Мар'ївської синкліналі розташована смуга дрібних брахіскладок, яка утворилася за рахунок порід світ C_2^3 та C_2^4 .

Південне крило Голубівсько-Мар'ївської синкліналі переходить в північне крило Первомайської антикліналі, в будові якої беруть участь світи карбону C_2^3 - C_2^5 .

Через центральну частину Первомайської антикліналі проходить великий регіональний Алмазний насув, який має падіння на південь під кутами 20-60 ° і амплітуду до 1400 м в межах Первомайської антикліналі та 500 м – в східних межах району.

Другим великим насувом є Мар'ївський насув, який простягається з північного заходу на південний схід, має південне падіння під кутом 35-75 °. Амплітуда сягає 1600 м.

Крім регіональних насувів, в районі дуже поширені дрібні порушення, які суттєво ускладнюють його тектонічну будову.

Донецько-Макіївський геолого-промисловий район розташований на південному крилі Кальміус-Торецької улоговини. Загальне падіння порід карбону північно-західне, в середньому 12-18 °; лише на крилах додаткових складок або поблизу порушень зустрічаються більш круті кути падіння, до 70° [93].

Західна частина Донецько-Макіївського району характеризується простішою тектонічною будовою, спокійним заляганням пластів та незначними розривними порушеннями.

Центральна та східна частини району відрізняються складною тектонічною будовою, що виражається в інтенсивному прояві плікативних і розривних дислокацій двох напрямків: субширотного та субмеридіонального.

Субширотні плікативні структури розвинені тільки на сході району. Тут розташована Макіївсько-Ряснянська синкліналь, формування якої пов'язано з утворенням Зуєвського купола, що відокремлює її від східного продовження Кальміус-Торецької улоговини – Чистяково-Сніжнянської мульди. Макіївсько-Ряснянська синкліналь розділена поперечними складками на окремі брахісинклінали.

Поперечні флексурні складки розташовані майже перпендикулярно до основної складчастості Донбасу. Вони особливо розвинені в центральній та східній частинах, дуже ускладнюючи загальну тектонічну структуру району. До них належать такі флексури як: Калинівська, Ясинівсько-Жданівська, Ветківська, Чайкінська, Петрівська, Моспіно-Іловайська та ін.

В даному районі дуже поширені розривні порушення, в основному представлені насувами. Скиди зустрічаються рідко, головним чином в південно-східній частині району, і мають широтне простягання і невеликі амплітуди розривів. Виділяються три основні групи насувів, що характеризуються певними морфологічними ознаками і в ряді випадків виявляють генетичний зв'язок зі складчастістю [93].

До I групи належать насуви субширотного простягання з північно-східним і південно-західним падінням зміщувачів, утворення яких пов'язане з формуванням основної лінійної складчастості Донбасу. До цієї групи належать Мушкетівський насув і деякі з насувів Моспінської та Будьоновської груп шахт.

До II групи насувів, найбільш розвинених в Донецько-Макіївському районі, відносяться насуви субмеридіонального простягання з північно-західним падінням зміщувача. До зазначеної групи належать насуви: Французький, Калинінський, Тимошенка та інші менш значні.

До III групи насувів відносяться насиви з падінням на південний схід: Первомайський, Ясинівський, Італійський, Марковський і Дулінський.

Довжано-Ровенецький геолого-промисловий район відноситься до Головної синкліналі Донецького басейну, яка розділена на Боково-Хрустальську синкліналь на заході і Довжано-Садкінську на сході в результаті здійснення осі в районі р. Ровеньки. Основною структурою району є Довжанська улоговина, яка є західною частиною Довжансько-Садкінської синкліналі [98].

Довжанська улоговина має довжину 30 км, ширину в західній частині району близько 4 км, в східній – близько 18 км. Вісь улоговини простягається в напрямку з північного заходу на південний схід, плавно занурюючись на схід під кутами 3-7 °. Довжанська улоговина асиметрична, з більш крутим (від 12 до 48 °) південним крилом і пологим (від 0 до 10-18 °) північним.

Ровенецьке підняття має довжину близько 20 км і ширину до 6 км. В осьовій частині підняття на поверхню виходять відклади світи C_2^5 , які є найнижчими стратиграфічними горизонтами, що виходять на поверхню по осі Головної синкліналі.

Залягання порід в межах району ускладнено поперечними крутопадаючими скидами, більшість з яких пов'язана з Ровенецьким підняттям (із заходу на схід): Юскінським західним, східним Михайлівським, Дар'ївським, Корніївським та ін. Простягання скидів меридіональне; падіння майже вертикальне, нормальна амплітуда зміщення великих порушень 100-120 м, лише для скиду Юскінського східного досягає 280-290 м.

Північне крило синкліналі і осьова частина, скидами розділені на ряд опущених і піднятих ділянок-блоків розмірами від 1,5 до 4,8 км. Південне крило порушене ще більшою кількістю скидів – від 18 до 21, довжина яких по простяганню коливається від десятків метрів до 1,5 м.

3.3 Колекторські властивості порід

Природні гази вугленосних товщ знаходяться в сорбованому, вільному і водорозчинному стані, а також у твердих розчинах. Переважною формою знаходження метану у вугіллі є його сорбований стан. У вугільних пластах, які складають всього кілька відсотків від складу вугленосних товщ, в сорбованій формі знаходиться майже половина загальної кількості метану та інших вуглеводневих газів. У породах з низьким вмістом органічної речовини основна маса газів знаходиться у вільному стані (в порах, пустотах, тріщинах) або ж в розчиненому стані (в пластових і порових водах). При низьких температурах можливе існування метану і його гомологів у твердому розчині в вигляді газогідратів.

Фазовий стан газів у вугленосній товщі залежить від літологічних особливостей та колекторських властивостей порід, геологічних, гідрогеологічних та термобаричних умов. За формою перебування газів у вугільних родовищах виділяють колектори сорбованих газів і колектори вільних й розчинених газів.

Потужними колекторами сорбованих газів є вугільні пласти з відносно високим вмістом (понад 30 %) розсіяної вуглистої речовини, які за своєю природою є одночасно як генераторами, так і акумуляторами газів.

Метан у вільному стані у вугільних пластах та породах займає гранулярний та поровий простір (гранулярний та тріщинний). Його кількість зростає зі збільшенням пористості, глибини й тиску, та зменшується з підвищенням температури. Якщо пори і тріщини заповнені водою, то вміст у них метану нижчий. У породах з низьким вмістом органічної речовини основна маса газів знаходиться у вільному або у розчиненому стані.

Колекторами вільних і розчинених газів у Донецькому басейні є пісковики з низьким вмістом (менше ніж 5 – 10 %) розсіяної вугільної речовини.

Для Донецького басейну колекторські властивості порід змінюються досить різко з заходу на схід, від крайових частин басейну до центральних, відповідно до збільшення загальної потужності вугленосних відкладів. Відкрита пористість пісковиків змінюється від 0,1 до 20,9 %, а газопроникність – від 0 до 50 Мд [1].

Одним з головних факторів, який обумовлює зміну ємнісних та фільтраційних властивостей порід, є ступінь їх катагенетичних перетворень. Зі збільшенням ступеня катагенезу колекторські властивості порід погіршуються.

Проникність пісковиків на шахтних полях Донецького басейну дуже низька. Це свідчить про вкрай слабку фільтрацію газу, проте дозволяє припускати можливе формування зон, в яких фільтрація газу відбувається. Але навіть в таких зонах вона буде істотно нижче чим фільтрація газу на класичних газових родовищах. У зв'язку з цим ефективне видобування газу з пісковиків можливе після застосування гідророзриву або інших видів впливу, які інтенсифікують газовиділення.

Основним завданням при виборі моделі формування газонасичених зон у теригенному масиві, який ще не порушений гірничими виробками, є обґрунтування і вибір геологічних, геофізичних або геохімічних параметрів, визначення яких дозволяло б прогнозувати стан таких зон в масиві.

За основу приймаються тектонічні умови залягання вугленосних відкладів. На тлі пологого моноклінального залягання порід виділяються локальні синклінальні і антиклінальні складки, в межах яких вугілля й породи максимально порушені внаслідок їх тріщинуватості. Цей факт є сприятливим для інтенсивного розвитку тріщин у процесі гідророзриву, як у вугіллі, так і в пісковиках. Просторове положення складок фіксується за допомогою побудови карт локальних структур, які є проєкцією поверхні пласта на похилу площину.

Волога в порах пісковиків суттєво знижує їх газовміщуючі властивості. Однак, викиднебезпечні пісковики характеризуються низькими значеннями

вмісту води в породах, від 10 до 30%. На шахтах Донбасу відбувалися викиди пісковиків, що свідчить про можливе знаходження зон, в яких ступінь заповнення пор пісковика водою буде в межах 10-30%. В основному, такі зони пов'язані до стрижневих ділянок палеопотоків, які формували піщані відклади. Просторове положення стрижневих ділянок палеопотоків фіксується на картах відносної потужності конкретних пісковиків, які показують відношення потужності пісковика до потужності обраного геологічного інтервалу, обмеженого маркуючими горизонтами вапняків або вугілля.

Чим більше відношення потужності пісковика до потужності обраного геологічного інтервалу, тим більше період часу тривав потік, який приносив уламковий піщаний матеріал. Це зумовило велику зернистість піщаного осаду, меншу глинистість і, як наслідок, більшу пористість і меншу вологість пісковика, оскільки вода утримується глинистими частинками, що мають більшу питому поверхню.

Найбільш сприятливими зонами для скупчення вільного метану в пісковиках будуть місця перетину стрижневих ділянок палеопотоків з антиклінальними локальними структурами.

В стрижневих ділянках палеопотоків пісковики характеризуються максимальними газомісткими властивостями. В антиклінальних локальних структурах формуються тріщинуваті зони, що покращують фільтрацію газу.

Найпоширенішими компонентами вугільних газів вугленосних відкладів є метан, азот та вуглекислий газ. Інші гази зустрічаються лише у вигляді домішок. Метан та його гомологи утворилися в процесі вуглефікації органічної речовини в умовах діагенезу та катагенезу.

На ранніх стадіях перетворення порід переважає вуглекислий газ, на пізніх - вуглеводні. Склад вуглеводневої частини залежить від генетичного типу органічної речовини. У разі переважання в ньому гумусових різновидів, там різко переважає метан, іноді істотно підвищена кількість етану. Важкі

вуглеводні, на ранніх стадіях перетворення порід, відсутні або зустрічаються у вигляді окремих випадків. У разі типово сапропелітових різновидів значна роль належить вищим газоподібним гомологам метану. В умовах контактного метаморфізму в газах різко підвищується кількість водню і гомологів метану; можлива присутність ненасичених вуглеводнів і окису вуглецю. Категорія газів вуглефікації включає практично всі види вуглеводневих природних газів, що зустрічаються у вигляді покладів (газових, газоконденсатних, газонафтових) або присутніх в розчиненому вигляді в природних водах.

На початковому етапі вуглефікації вугілля (марки Б, Д) відбувається інтенсивне утворення вуглекислого газу і менш значна генерація метану. На середній підстадії катагенезу (утворення вугілля марок Г - ОС) відбувається значне виділення метану та максимальна генерація важких вуглеводнів. На пізній підстадії катагенезу (утворення вугілля марок Т, А) відбувається активна генерація метану та, можливо, водню при повній відсутності важких вуглеводневих газів. На завершальній стадії вуглефікації (суперантрацит) у складі генеруючих газів переважають водень і вуглекислий газ при підпорядкованій та незначній ролі метану.

Близькість компонентного та ізотопного складу вуглеводневих газів вугілля та вуглевміщуючих порід дозволяє говорити про їх генетичну спорідненість.

Сучасна газоносність вугленосних товщ значною мірою визначається просторовим перерозподілом вуглекатагенних газів, спільно з газами, які мігрували з глибинних горизонтів вугільних басейнів і родовищ.

Основним газовим компонентом вугленосних відкладів є гази метанового ряду, зміст яких закономірно зростає з палеоглибиною. Генетично метан пов'язаний з вугільними пластами і з розсіяним органічною речовиною у вміщуючих породах. Метан (CH_4), який є звичайним природним газом, є високоякісним паливом та відноситься до парникових газів сильної дії.

Метан є головним вибухонебезпечним компонентом природних газів вугільних пластів. При з'єднанні з повітрям метан утворює горючі суміші (при вмісті в них метану до 5 – 6 % і понад 14 – 16 %) й вибухові суміші (при вмісті в них метану від 5 до 16%). Максимальна сила вибуху досягається при вмісті метану 9,5%. Температура загоряння метану знаходиться в межах 670 - 750 ° С.

Важкі вуглеводні у складі природних газів вугільних пластів представлені в основному етаном (C_2H_6) та пропаном (C_3H_8), рідше бутаном (C_4H_{10}). З ростом глибини гірничих виробок у Донецькому басейні, у вугільних газах спостерігається збільшення вмісту важких вуглеводнів, особливо у вугіллі середніх ступенів вуглефікації (Г - К).

Азот постійно присутній у складі газів вугільних родовищ і вміст його коливається в широких діапазонах від декількох відсотків до 90-95% у приповерхневій зоні. Кількість азоту у складі газів вугільних пластів закономірно зменшується з глибиною. Нижче верхньої межі зони метанових газів його вміст в середньому не перевищує 5%.

Азот у вугільних пластах в зоні метанових газів це похований компонент давньої атмосфери і є результатом біохімічних процесів. Вуглекислий газ постійно присутній у газах вугленосних відкладів в кількості від частки відсотка до 80% і більше. Зі збільшенням глибини залягання вугільних пластів вміст CO_2 зменшується. Вуглекислий газ, головним чином, є продуктом окислювальних процесів в зоні газо- і водообміну.

Водень присутній у більшості газових проб вугільних пластів в десятих або сотих частках відсотка. Його походження пов'язане з біохімічними процесами перетворення органічної речовини - її вуглефікації та з міграцією з магматичних осередків.

Гелій у газовій суміші вугільних пластів Донбасу зустрічається у вигляді мікродомішок. Його середні концентрації у вугільних (сорбованих) газах не перевищують 0,05 %. Для скупчень вільного газу вони коливаються в межах

0,1 - 0,3 %, для водорозчинних газів 0,1 - 0,9%. Генезис гелію у вугільних газах пов'язують з радіоактивним розпадом.

Оксид вуглецю у газовій суміші вугільних пластів Донбасу зустрічається рідко та його походження не з'ясоване.

Сірководень також зустрічається рідко. Його концентрації у вугільних газах коливаються у межах 0,4 - 1,0%. Він утворюється в результаті реакції взаємодії сульфатних вод з метаном, можливо, за участю бактерій. Його утворення могло проходити в значних об'ємах при формуванні вугілля, однак через підвищеної розчинності у воді його вміст у вугільних газах незначний.

Павлоградсько-Петропавлівський геолого-промисловий район характеризується достатньо високими колекторськими властивостями порід у порівнянні з іншими районами Донецького басейну [98]. Загальна пористість порід досягає 17-20 %. Загальна пористість пісковиків Брагіновської ділянки, в інтервалі глибин 300-700 м, коливається в межах 10-17 %, алевролітів - 8-12,7 %, аргілітів - 4,6-9 %. Відносно високі властивості гранулярних та широкий розвиток тріщино-порових колекторів при наявності слабопроникних аргілітів, які виступають як покрівлі, забезпечило гарні умови для формування дрібних скупчень вільного газу. Також, сприятливі умови для накопичення вуглеводнів мають численні прирозломні структури – Каховська, Каховська – Західна, Новодачинська, Слав'янська та ін.

Красноармійський геолого-промисловий район характеризується великими коливаннями значень загальної та відкритої пористості. Це перш за все пов'язано з тим, що породи усіх літотипів неоднорідні, мають різну щільність та різне співвідношення крупно- та дрібнозернистого уламкового матеріалу. Найбільшими показниками відкритої пористості характеризуються пісковики, найменшими алевроліти та аргіліти.

Північна частина району (ділянка Ново-Бахметьєвська, Самарська, Терешківська) характеризується високими колекторськими властивостями

порід. Показники пористості сягають 20 %, проникності – від 0,002 до 23,7 Мд. При цьому газоносність порід невелика – від 0 до 0,3-0,5 м³/т, що пояснюється великим обводненням вугленосної товщі.

В межах глибин від 700 до 1500 м середнє значення пористості пісковиків зменшується досить інтенсивно від 10 до 5-6 % [22, 98]. На глибинах 1000-1200 м пористість алевролітів та аргілітів складає 2-3 %, в той час, як проникність майже дорівнює нулю. Для пісковиків, на тих самих глибинах, пористість складає 4-6 %, а проникність – 0,5-0,8 Мд. Саме з цього приводу пісковики є основними колекторами вільного газу, а алевроліти та аргіліти відіграють роль слабопроникних покрівель.

Алмазно-Мар'ївський геолого-промисловий район характеризується зменшенням колекторських властивостей з північно-західної частини району на південно-східну – у напрямку збільшення катагенетичних перетворень порід. Пористість пісковиків в середньому знижується від 8,7 до 3,6 %, алевролітів та аргілітів – з 6,6 до 4,0 %. Газопроникність порід зменшується від 35,4 до 0,03 Мд. Для району характерні породи з гранулярною пористістю, але в зонах куполів та плікативних складок переважають породи з тріщинною пористістю, які стають досить гарними колекторами, особливо в районах поширення вугілля марок Г, Ж, К. Більшість свердловин з газовиділенням знаходяться серед куполоподібних та флексурних складок та донних частин синкліналей. Газонасиченими горизонтами частіше всього виступають пісковики, рідше – алевроліти [96].

Донецько-Макіївський геолого-промисловий район характеризується зниженням показників пористості порід з заходу на схід, по мірі збільшення ступеня їх катагенетичних перетворень. Найбільші значення відкритої пористості (8,1-15,1 %) характерні для пісковиків західних ділянок району, які вміщують вугілля марок Г-Ж. Пористість пісковиків, які залягають в центральній частині району та вміщують вугілля марок К-ПС, коливається від 4,3 до 3,1 %. Газопроникність змінюється від 0,03 до 0,4 Мд. Пористість аргілітів та алевролітів досить низька – 3,4-4,2 % [96].

Довжано-Ровенецький геолого-промисловий район, у відношенні вугільних газів чи скупчень вільного газу, належить до неперспективних. Вугленосні відклади району вміщують суперантрацити, що вказує на пізню підстадію катагенезу і як наслідок, низькі значення колекторських показників. Пористість порід змінюється від 1,6 до 4,2 %. Іноді, за рахунок мікротріщинуватості, породи можуть бути газопроникними, при цьому проникність по напластуванню та перпендикулярно до нього має близькі показники. Проникність порід коливається від 0,0025 до 0,028 Мд. При дослідженні ділянок в інтервалах глибин 170-1896 м автори роботи [96] отримали тільки притоки пластових вод без газу. Дебіти змінювалися в межах від 0,1-7,0 до 79,0-85,0 л/хв. Ні виділення газу, ні суфлярів в гірничих виробках шахт не спостерігалось.

3.4 Викидонебезпечність порід

Викиди порід відбуваються у газоносних пісковиках, які знаходяться у напруженому стані та характеризуються підвищеним вмістом кварцу, пружними властивостями та підвищеною ефективністю поверхневої енергії.

Викиди порід і газу відбуваються в основному при проведенні виробок вибуховим способом, при швидкому вибуховому відторгненні порівняно великої частини масиву і виникненні в невибухлій частині масиву (під дією гірського і газового тиску) сил пружного відновлення, які розряджаються у вигляді розтягувальних деформацій [102]. Газонасиченість порід під тиском 3 - 10 МПа знижує механічну міцність і сприяє розвитку тріщинуватості, що сприяє руйнуванню порід під впливом перерозподілу гірського тиску. Викиди порід і газу відбуваються при розтині, перетині та проведенні виробок по викидонебезпечних пісковиках на різних глибинах, починаючи з глибини 650 - 700 м.

У Донбасі викидонебезпечними є пісковики з підвищеним вмістом органічної речовини, які при викидах руйнуються до фракцій

дрібнозернистого піску і відкидаються на відстань до 100 м. Частина пройденої виробки заповнюється викинутим дрібнороздробленим пісковиком, серед якого зустрічаються шматки породи вагою 150 - 170 кг. Стінки порожнини викиду в товщі пісковика зазвичай оконтурені дископодібними пластинками пісковика, товщина яких в напрямку незайманого масиву зростає.

У генетичному відношенні викиди пісковика і газу характерні для руслових пісковиків, пісковиків підводних виносів річок і прибережно-морських, які відрізняються від пісковиків інших генетичних типів мінеральним складом і структурно-текстурними особливостями [29].

Викиди пісковиків обмежуються районами розвитку вугілля марок Г, Ж, К, ПС, а також мінімальною глибиною залягання порід - 600 м. Викидонебезпечними є пісковики світ C_2^3 , C_2^4 , C_2^5 , C_2^6 , C_2^7 середнього карбону та C_3^1 верхнього карбону. Середній вміст пісковиків в зазначених світах змінюється від 23 до 58 %. Потужність викидонебезпечних пісковиків коливається від 2,6 до 70 м [22].

З представлених у дисертаційній роботі районів дослідження викиди порід відбуваються у Красноармійському, Донецько-Макіївському та Алмазно-Мар'ївському районах, в яких розвинені вугілля марок Г, Ж, К, ПС. Зазначені райони характеризуються високою газонасінстю вугільних пластів та газонасиченістю прилеглих порід.

Красноармійський геолого-промисловий район. Викиди порід відбувалися на шахті ім. О.Г. Стаханова, яка знаходиться в центральній частині району, на південно-західному крилі Кальміус-Торецької улоговини. Простягання порід на площі шахтного поля моноклінальне, північно-західне з падінням на схід та північний схід під кутами від 3 до 20°. На ділянці розташування шахти поширені скиди, два з яких – Красноармійський та Центральний, перетинають шахтне поле. Викиди порід відбуваються в пісковиках світи C_2^6 , яка характеризується наступним літологічним складом:

пісковики – 41 %, аргіліти та алевроліти – 52, 3 %, вапняки – 3 %, вугілля – 3,7 % [22].

Донецько-Макіївський геолого-промисловий район характеризується значною кількістю випадків викидів порід. Найбільша кількість викидів відбулася на шахтах ім. О.Ф. Засядька, ім. О.О. Скочинського, ім. К.І. Поченкова, ім. М. Горького та ін. В тектонічному плані район розташований в південній частині Кальміус-Торецької улоговини. Західна частина району має спокійне залягання порід з дрібними розривними порушеннями. Центральна та східна його частини характеризуються складною тектонічною будовою. Для району характерний розвиток порушень типу насув. Скиди зустрічаються досить рідко. Породи карбону мають північно-західне падіння під кутом 10-48°. Викиди порід відносяться до 12 стратиграфічних інтервалів пісковиків світ C_2^3 , C_2^5 , C_2^6 , C_2^7 , C_3^1 . В літологічному відношенні світи представлені теригенною товщею піщано-глинистих порід – 64-79 %. Менш поширені пісковики – 19-34 %, карбонатні породи – 0,6-3 % та вугілля – 0,3-2,2 % [22].

В Алмазно-Мар'ївському геолого-промисловому районі Донбасу викиди зареєстровані на шахті «Марія-Глибока» (до 2003 р. - шахта ім. В.Р. Менжинського). Північно-східна частина району представлена купольними структурами карбону, південна – північною смугою дрібної складчастості Донбасу. Головним розривним порушенням є Алмазний насув, який є межею шахтного поля на півдні. Кути падіння порід коливаються від 3-5° до 15-20°. Викиди порід характерні для світи C_2^6 , яка представлена пісковиками – 32,7 %, алевролітами – 38,8 %, аргілітами – 20,6 %, вапняками – 4,9 %, вугіллям – 3 %. Найбільш викидонебезпечними є пісковик I_1Sl_2 , потужністю 11 м та пісковик $I_7Sl_8^H$, потужністю 25 м [22].

Висновки до Розділу 3. Донецький басейн в геотектонічному плані є політипним утворенням. Для центральної частини басейну характерні риси геосинклінального типу формацій, в той час як для бортових частин притаманним є субплатформенний тип формацій.

В стратиграфічному плані, в будові басейну беруть участь потужні товщі палеозойських, мезозойських та кайнозойських відкладів. Особливістю басейну є наявність повного розрізу кам'яновугільної системи. Максимальна потужність карбону приблизно 23 км. Найбільш вугленосним є середній карбон, потужність відкладів якого коливається у межах 2500-2800 м. Світа нараховує від 75 до 185 вугільних пластів, з яких робочу потужність мають від 16 до 50 пластів.

В Донецькому басейні суттєву роль відіграє тектоніка. Басейн ускладнений системою складок та численними розривними дислокаціями, основними з яких є насуви, скиди та підкиди.

Для вирішення сформульованих в дисертаційній роботі завдань, автором роботи використовувалися проби, які були відібрані в п'яти геолого-промислових районах Донецького басейну – Павлоградсько-Петропавлівському, Красноармійському, Донецько-Макіївському, Алмазно-Мар'ївському та Довжано-Ровенецькому. Підставою для вибору цих районів стало те, що вони вміщують породи різних підстадій катагенезу та відрізняються в тектонічному плані.

Павлоградсько-Петропавлівський та Красноармійський райони знаходяться в прибортовій частині басейну, слабо дислоковані, вміщують вугілля марок Д, Г, Ж, К. Донецько-Макіївський та Алмазно-Мар'ївський райони є перехідною частиною басейну, сильніше дислоковані у порівнянні з районами прибортової частини басейну, вміщують вугілля марок Ж, К, ОС, Т. Довжано-Ровенецький район знаходиться у центральній частині басейну, сильно дислокований, вміщує вугілля марки А.

Ступінь катагенетичних перетворень та тектонічної дислокованості обумовили колекторські властивості порід та вірогідність прояву газодинамічних явищ у вугільних шахтах.

Найкращий колекторський потенціал мають пісковики Павлоградсько-Петропавлівського району. Показник відкритої пористості порід сягає 20 %, газопроникність до 50 Мд. До найбільш неперспективних у відношенні скупчень вільного газу відноситься Довжано-Ровенецький район, в якому показники пористості для пісковиків коливаються у межах 1,6-4,2 % та проникності 0,0025-0,028 Мд.

З представлених районів викиди порід та газу мають місце у Красноармійському, Донецько-Макіївському та Алмазно-Мар'ївському районах. Найбільша кількість випадків викидів порід і газу характерна для Донецько-Макіївського геолого-промислового району, у світах C_2^3 , C_2^5 , C_2^6 , C_2^7 , C_3^1 .

РОЗДІЛ 4

ТИПИ ПОРИСТОСТІ ПОРІД ТА МЕТОДИ ЇХ ДОСЛІДЖЕННЯ

4.1 Типи пористості порід.

Колекторські властивості порід мають вагоме значення в нафтогазовій галузі та при вирішенні питань викиднебезпеки. Колекторами називають породи, які здатні втримувати газові, рідинні або змішаного типу флюїди та віддавати їх при зміні тиску. Параметрами, які характеризують якість породи-колектора є пористість, проникність, насиченість флюїдами порового простору, щільність та ін.

Під пористістю розуміють об'єм всіх сингенетичних та епігенетичних пустот в породі. Будову порового простору визначають розміри, форма та конфігурація пор. Розрізняють пори первинні, які виникли під час седиментогенезу та діагенезу, та вторинні, формування яких пов'язане з процесами катагенезу та гіпергенезу. Мінімальний розмір пор, в яких можлива міграція флюїдів та розчинів складає 1-3 мкм [103]. Найсприятливішими для фільтрації є пори розміром >30 мкм. Якщо розмір порових каналів <1 мкм, то рух флюїдів гальмується [104].

За структурою пористість поділяють на гранулярну, тріщинну та кавернозну. Гранулярна пористість залежить від обкатаності, відсортованості, форми та способу укладки зерен, а також від типу та складу цементу. Гранулярний тип пористості характерний для теригенних порід, серед яких найбільш характерними породами-колекторами є пісковики та алевроліти. Тріщинна пористість виникає через розрядку тектонічної напруги та завдяки літологічним перетворенням. Тріщинна пористість максимально може досягати 2,5-3,0 % [103]. Цей тип пористості відіграє важливу роль у формуванні проникності порід та може зустрічатися в породах різного генезису. Кавернозна пористість характерна для розчинних порід –

карбонатів, сульфатів, хлоридів. Найбільш розповсюдженими є карбонатні колектори, які найчастіше представлені вапняками та доломітами. Розміри каверн можуть коливатися від частки міліметрів до десятків метрів (карстові печери). Кавернозна пористість може досягати десятків відсотків.

За типами пористість поділяють на загальну, відкриту, ефективну та закриту. Загальна пористість – це сумарний об’єм всіх пор в породі, незалежно від їх форми, розміру та взаємного положення. Вона, у свою чергу, ділиться на відкриту пористість (сукупність сполучених між собою пор) та закриту пористість (сукупність ізольованих, не маючих між собою сполучення пор). В нафтогазовій галузі також окремо виділяють ефективну пористість, під якою розуміють об’єм порової системи, здатної вміщувати нафту або газ з урахуванням залишкової водонасиченості (рис. 4.1), [91].

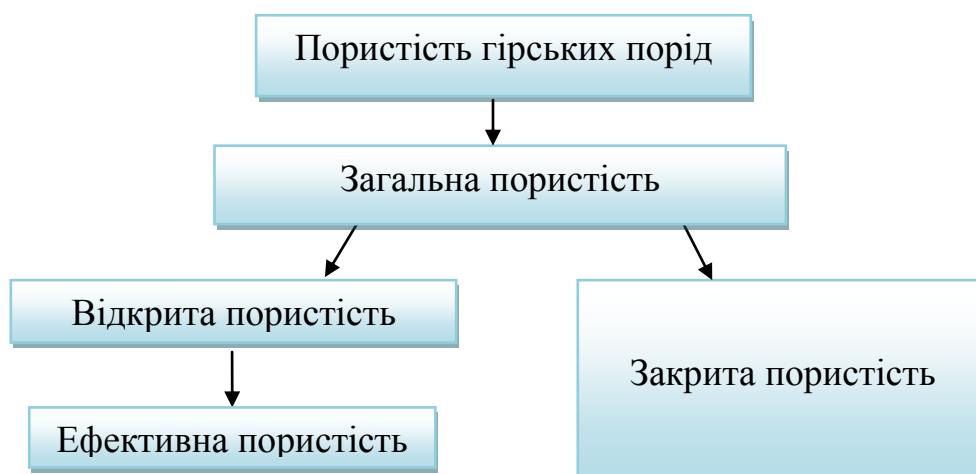


Рис. 4.1 Типи пористості порід

При дослідженні пористості порід необхідно враховувати всі її типи. Перш за все, це пов'язано з тим, що під час перетворення порід від дії різних умов (постдіагенетичні перетворення, вплив тектоніки, тощо) співвідношення між різними видами пористості змінюється. При ущільненні породи під дією тиску може відбуватися змикання каналів, під час чого частина відкритих пор може переходити в закриті. При розвантаженні породи може відбуватися зворотний процес, коли частина закритих пор буде переходити у відкриті.

4.2 Методи дослідження пористості порід.

Пористість порід визначають в лабораторних умовах шляхом виміру об'єму зразка породи та сумарного об'єму пустот у ньому. Кількісно пористість порід виражається коефіцієнтом пористості у відсотках чи частках одиниці [91].

Під коефіцієнтом загальної пористості розуміють відношення об'єму всіх пустот у зразку породи V_n до видимого об'єму цього зразка V_{zp} :

$$K_{з.п.} = (V_n / V_{zp}) * 100 \% \quad (4.1)$$

Для визначення коефіцієнта загальної пористості породи подрібнюють до розміру породоутворюючих зерен, щільність яких визначають методом пікнометру. Метод реалізується шляхом зважування пікнометру з зернами породи, а згодом з зернами та певною кількістю води після ретельного вакуумування.

Коефіцієнт загальної пористості можна визначити, якщо відома щільність твердого компоненту породи та всієї породи загалом та виразивши об'єми через відношення маси та щільності:

$$K_{з.п.} = (V_{zp} - V_{тк}) / V_{zp}, K_{з.п.} = 1 - \rho_{zp} / \rho_{тк}, \quad (4.2)$$

де $V_{тк}$ - об'єм твердого компоненту породи; ρ_{zp} та $\rho_{тк}$ - щільність відповідно зразка породи та твердого компоненту зразка породи.

Під коефіцієнтом відкритої пористості розуміють відношення сумарного об'єму відкритих пустот породи V_{en} до її об'єму:

$$K_{в.п.} = V_{en} / V_z \quad (4.3)$$

Коефіцієнт відкритої пористості визначають за ДСТУ 26450.0-85 [92] методом зважування зразка після повного насичення пор рідиною, яка не реагує з породоутворюючими мінералами. Добре проекстрагований та висушений зразок породи насичують рідиною у вакуумній установці та зважують – спочатку в повітрі, потім в рідині. За результатами зважування:

$$K_{e.n.} = ((G_1 - G_c) / (G_1 - G_2)) * 100 \% \quad (4.4)$$

де G_c – маса сухого зразка породи; G_1 та G_2 – маса насиченого рідиною зразка відповідно в повітрі та рідині.

Ефективна пористість, це сукупність пор, що сполучаються між собою, заповнених корисним флюїдом. Ефективна пористість є частиною відкритої пористості.

Для визначення коефіцієнта ефективної пористості добре проекстрагований та висушений зразок породи, циліндричної або кубічної форми з відомими значеннями загальної пористості та проникності зважують та ретельно насичують гасом у вакуумній установці, після чого знову зважують. Для подальшого витіснення гасу зі зразка використовують капілярну установку з мало проникною мембраною. Зразок розташовують на мембрані так, щоб витіснення гасу проходило паралельно напластуванню. Витіснення проводять до тих пір, доки маса зразка не буде постійною та газопроникність не буде дорівнювати газопроникності зразка до насичення його гасом [91].

На підставі отриманих значень підраховують об'єм витісненого гасу за формулою:

$$V_k = (G_1 - G_2) / \rho_k, \quad (4.5)$$

де G_1 – маса зразка після насичення його гасом; G_2 – маса зразка після витіснення гасу; ρ_k – щільність гасу.

Після того, як відомо V_k отримуємо значення коефіцієнту ефективної пористості:

$$K_{e.n.} = V_k / V_{зр} \quad (4.6)$$

Коефіцієнт закритої пористості визначають розрахунковим методом, як різницю значень загальної та відкритої пористості:

$$K_{закр.п.} = K_{з.п.} - K_{в.п.} \quad (4.7)$$

Загалом, отримане розрахунковим методом значення закритої пористості в середньому становить 1-2 % для газоносних порід. Враховуючи невеликі значення закритої пористості та її замкнуту, ізольовану природу, яка перешкоджає руху флюїдів у пористому середовищі, на практиці цей показник залишають без уваги.

Необхідно зауважити, що при визначенні закритої пористості розрахунковим методом ми отримуємо значення тільки того об'єму закритих пор який міститься в цементі породи, оскільки при визначенні загальної пористості породи подрібнюють до середнього розміру породоутворюючих мінеральних зерен. В роботі [82] зазначено, що значний об'єм закритих мікропор міститься в мінеральних зернах порід, у вигляді газових та газорідних включень. Для визначення об'єму закритих пор в мінеральних зернах порід, автором роботи запропонована методика [105, 106], яка може доповнити класичні методи визначення пористості порід.

4.3 Дослідження пористості порід Донбасу

Протягом декількох десятиків років, вченими проводяться комплексні дослідження пористості основних порід Донбасу. По-перше, це пов'язано з

проблемами викидонебезпечності порід, по-друге, з перспективністю вугільно-теригенної товщі на газ.

Основними газовміщуючими породами Донецького басейну є вугілля та пісковик.

Вугілля за своєю природою може не тільки вміщувати газ, але й генерувати його, в той час як пісковик є основним колектором газу. Названі породи значно відрізняються за своїми фізико-механічними властивостями й, відповідно, зміна цих властивостей в певних умовах протікає по-різному.

Вченими було встановлено, що основним параметром, який впливає на вугілля є температура, в той час як для пісковика це тиск [20, 23].

Дослідження автором загальної пористості пісковиків та вугілля Донбасу ще раз підтвердило цей висновок [107, 108]. Для його реалізації використовувалися данні загальної пористості пісковиків та вугілля таких геолого-промислових районів Донбасу: Красноармійський, Донецько-Майівський, Центральний, Краснодонський, Чистяково-Сніжнянський. Підставою для вибору цих районів було те, що вони вміщують кам'яне вугілля всіх марок, від Д до А, та зазнали різної тектонічної напруги. Задача дослідження полягала в порівняльному аналізі змін загальної пористості пісковиків та вугілля в залежності від впливу тектоніки та постдіагенетичних перетворень порід.

Необхідно зазначити, що під постдіагенетичними перетвореннями вугілля, так само як і для порід, які його вміщують, мається на увазі процес катагенезу. Згідно із Довідником з літології [11] для позначення постдіагенетичних змін органічної речовини доречніше використовувати термін «катагенез». Стадія катагенезу умовно визначається за технологічними марками вугілля.

Відомо, що загальна пористість пісковиків закономірно зменшується зі збільшенням ступеня катагенетичних перетворень. В умовах раннього катагенезу показники загальної пористості пісковиків в середньому становлять 18 %. Зі збільшенням глибини та тиску пористість значно

зменшується і для пісковиків пізньої підстадії катагенезу становить приблизно 2 %. Це обумовлено тим, що зі збільшенням палеоглибини ступінь перетворення породи зростає, що призводить до ущільнення і відповідно, зменшення об'єму порового простору породи [23].

Перетворення загальної пористості вугілля має дещо інший характер. В умовах раннього катагенезу показники зменшуються від 15 % (вугілля марки Д) до 8 % (вугілля марки Г). Цікавим є факт збереження стабільних значень показника загальної пористості вугілля на середній підстадії катагенезу. Для вугілля марок Ж, К, ПС він складає приблизно 6 %. На пізній підстадії катагенезу показник загальної пористості збільшується у порівнянні з середньою підстадією. Так, для вугілля марки П він складає 8 %, для марки А – 12 % (рис. 4.2).

Коефіцієнт загальної пористості вугілля змінюється за поліноміальною залежністю з показником достовірності апроксимації (R^2) 0,95. Показники загальної пористості пісковиків змінюються за лінійною залежністю при $R^2 = 0,9$.

За допомогою кореляційного аналізу встановлено зв'язок між показниками загальної пористості вугілля та пісковиків ($r = 0.53$).

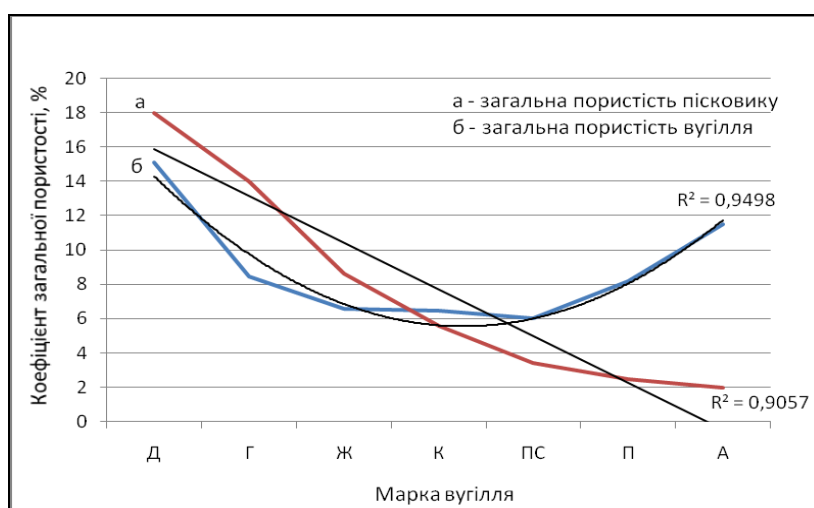


Рис. 4.2 Вплив катагенезу на перетворення загальної пористості пісковиків та вугілля Донбасу

Подібна залежність зміни загальної пористості вугілля зі збільшенням ступеня їх перетворення описується в роботі [109]. У даній роботі зазначено, що загальна пористість вугілля зменшується від марки Б до марки Ж, а потім зі збільшенням ступеня перетворення підвищується, досягаючи максимуму у вугіллі марки А. В роботі [110] зазначено, що збільшення порового простору вугільної речовини на пізній підстадії катагенезу, пов'язане з молекулярними змінами, які впливають на структурні перетворення вугілля.

Відомо, що загальна пористість пісковиків, як і загалом їх колекторський потенціал, досить різко змінюється від прибортових районів до центральних, відповідно до збільшення тектонічної напруги [111]. Наприклад, для пісковиків однієї підстадії катагенезу середній показник загальної пористості у Красноармійському районі сягає 12 %, в той час як у Центральному він становить приблизно 4 % [112].

Для вугілля характерна інша закономірність. Дослідження загальної пористості вугілля марки Ж, яке було відібране в прибортових, перехідних та центральних районах басейну, показало стабільні значення загальної пористості, які коливаються в межах 6 % (рис. 4.3).



Рис. 4.3 Вплив тектоніки на перетворення загальної пористості вугілля марки Ж та прилеглих до нього пісковиків

Таким чином, тектонічні та постдіагенетичні процеси по-різному впливають на поровий простір пісковика та вугілля. На відміну від пісковика, для якого характерне закономірне зменшення показників загальної пористості зі збільшенням ступеня перетворення порід і тектонічної напруги, поровий простір вугілля більшою мірою реагує на температуру, яка обумовлена катагенетичними змінами, і майже не реагує на тектоніку.

Важливим параметром порід, як колекторів природних газів вугільних родовищ, є відкрита пористість. Разом з газопроникністю, вона характеризує місткісні та фільтраційні властивості порід, є суттєвим параметром при вирішенні питань, пов'язаних з розподілом газу в гірничому масиві, їх міграцією та виділенням в гірничі виробки, дегазацією та викиднебезпечністю вугільних пластів та порід [23].

Для всіх районів Донбасу вченими було встановлено закономірне зменшення відкритої пористості порід зі збільшенням катагенетичних перетворень та тектонічних навантажень [23, 30, 111, 113]. Найбільш інтенсивне зменшення цього показника характерне для ранньої підстадії катагенезу. На середній та пізній підстадії катагенезу відкрита пористість зменшується менш інтенсивно. Це пояснюється тим, що зі збільшенням катагенетичних перетворень, породи ущільнюються, що призводить до зменшення об'єму їх порового простору (рис. 4.4).

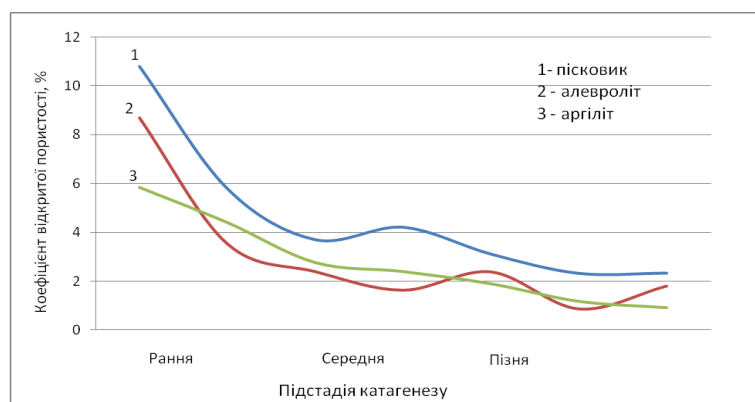


Рис. 4.4 Вплив катагенезу на зміну показників відкритої пористості порід Донбасу [98]

В периферійних районах Донбасу, в зонах поширення вугілля марок Г, Ж існує досить тісний кореляційний зв'язок між об'ємною щільністю та відкритою пористістю пісковиків. Зі зменшенням пористості зв'язок між об'ємною щільністю та відкритою пористістю пісковиків стає слабшим чи взагалі відсутній.

Відкрита пористість пісковиків по-різному змінюється в залежності від їх генезису. Так наприклад, в роботі [28] зазначено, що в районі поширення вугілля марки Г, коефіцієнт відкритої пористості для всіх генетичних типів пісковиків максимальний. Відкрита пористість закономірно збільшується від пісковиків фації лагун до пісковиків фації русла.

Окрім катагенезу, важливим фактором впливу на відкриту пористість порід є також регіональні тектонічні процеси, які сформували сучасний структурний план Донбасу. При порівняльному аналізі пісковиків одного генетичного типу, які залягають в зоні поширення вугілля марки Ж, але в різних тектонічних районах, спостерігається збільшення об'ємної щільності та зменшення відкритої пористості пісковиків при переході від периферійних районів басейну до центральних (рис. 4.5).

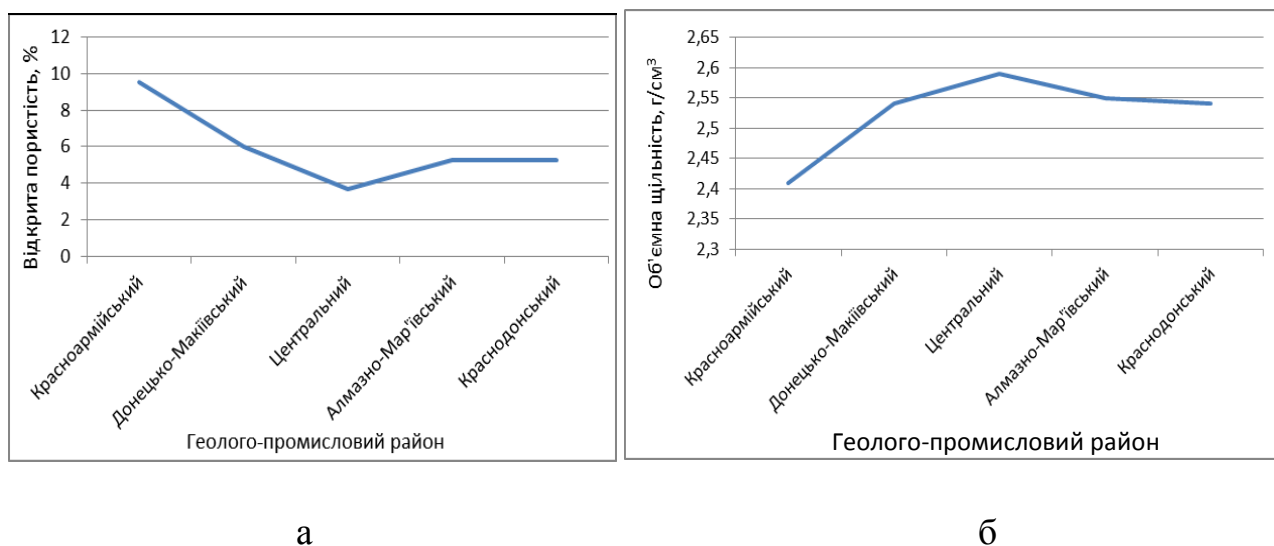


Рис. 4.5 Зміна відкритої пористості (а) та об'ємної щільності (б) пісковиків підводних виносів рік в зоні поширення вугілля марки Ж [38]

Таким чином, на перетворення об'ємної щільності та відкритої пористості пісковиків суттєвий вплив мають три фактори: умови утворення, які визначаються літогенетичним типом пісковика, ступінь катагенезу, який визначається за маркою прилеглого до пісковика вугілля та тектоніка, яка характеризується положенням пісковика в тій чи іншій структурній зоні [39]. Сучасна глибина залягання порід впливає на зміну об'ємної щільності та відкритої пористості пісковиків тільки в периферійних районах [40], там, де породи відносяться до ранньої підстадії катагенезу та не зазнали суттєвої тектонічної напруги.

Автором дисертаційної роботи вже було зазначено, що недоліком у встановленні показника загальної пористості є те, що породу подрібнюють тільки до середнього розміру породоутворюючих зерен [114]. Такий метод дозволяє встановити відкритий та закритий об'єм порового простору у цементі породи. Звичайно, такий метод повністю задовільняє вимоги нафтогазової галузі оскільки ним можливо встановити той об'єм порового простору який забезпечує міграцію флюїдів. Але при такому методі показники загальної пористості не є абсолютними, оскільки частина закритої пористості зберігається в породоутворюючих зернах [115-117]. Це підтверджується результатами аналізу залишків проб пісковика після встановлення показника їх загальної пористості.

Після встановлення показників загальної пористості пісковиків Донбасу у лабораторії вітчизняної організації, залишки проби досліджувалися на мікроскопі типу МБС-1. За допомогою об'єкт-мікрометру підраховувалися розміри уламкових зерен породи. Для порівняльного аналізу були взяті проби пісковика Красноармійського (шахта ім. О.Г. Стаханова) та Алмазно-Мар'ївського (Санжарівська площа) геолого-промислових районів. Після цього проводився підрахунок розміру та об'єму газових та газорідних включень кварцових зерен у шліфах тих самих проб пісковиків на мікроскопі типу ПОЛАМ Р-111 при збільшенні 1200 крат із застосуванням імерсійної рідини (рис. 4.6-4.8).

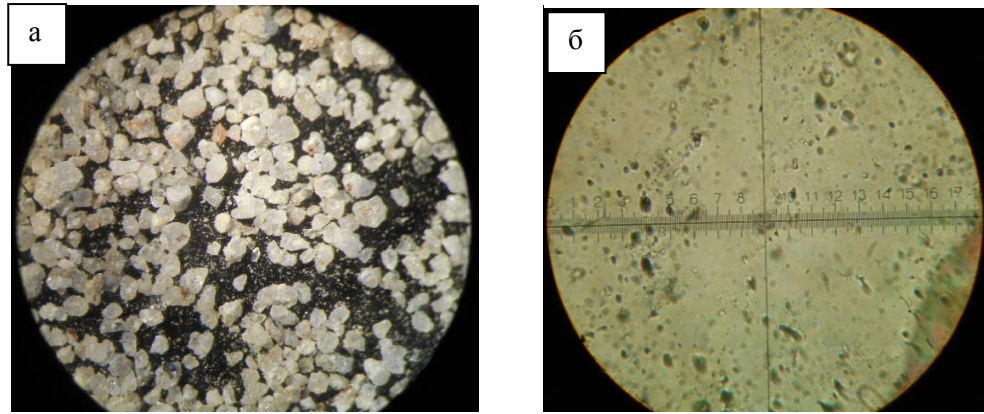


Рис. 4.6 Проба пісковика 3525, $I_2SL_2^1$, ш. ім. О.Г. Стаханова, Красноармійський ГПР: (а – уламкові зерна пісковика після встановлення показника загальної пористості, 16^x ; б – кварцове зерно з газовими та газорідними включеннями, 1200^x)

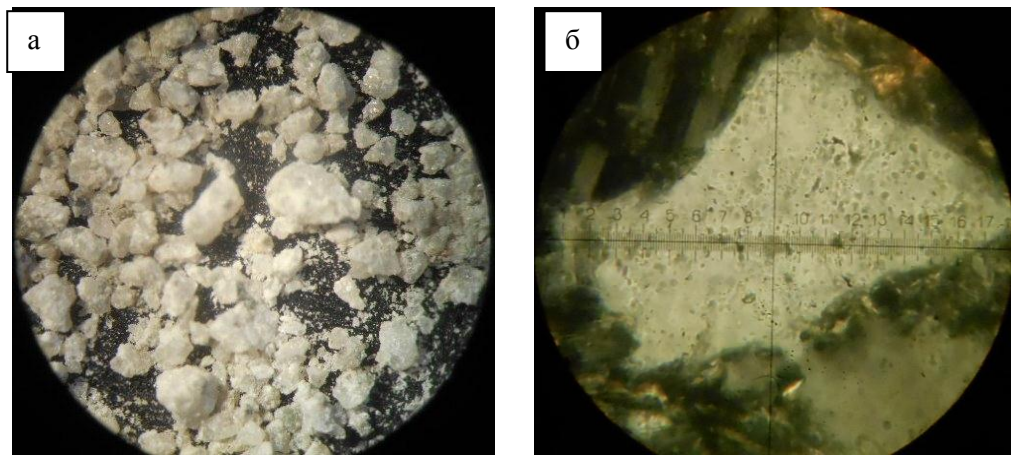


Рис. 4.7 Проба пісковика 3960, $m_6^2Sm_6^3$, Санжарівська площа, Алмазно-Мар'ївський ГПР: (а – уламкові зерна пісковика після встановлення показника загальної пористості, зб. 16^x ; б – кварцове зерно з газовими та газорідними включеннями, зб. 1200^x)

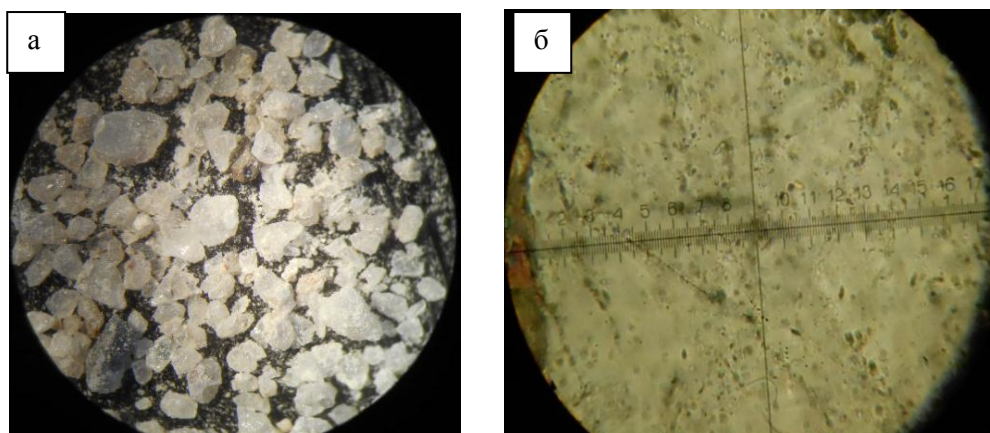


Рис. 4.8 Проба пісковика 3954, m_3SM_4 , Санжарівська площа, Алмазно-Мар'ївський ГПР: (а – уламкові зерна пісковика після встановлення показника загальної пористості, зб. 16^x ; б – кварцове зерно з газовими та газорідними включеннями, зб. 1200^x)

Дані замірів заносилися в табл. 4.1.

З таблиці 4.1 видно, що розміри уламкових зерен пісковиків після визначення показника загальної пористості значно вищі за розміри включень, які в них залишилися. Звичайно, що при подрібненні породи в лабораторних умовах для визначення показника загальної пористості частина флюїдних включень все ж таки розкривається. При певному навантаженні на зерно вони будуть розколюватися по ослабленим зонам. Перш за все, ними є мікродеформації уламкових зерен, зокрема смужки Бьома, які декоровані переважно газовими включеннями. Але значна частина газових мікровключень в уламкових зернах пісковиків все ж таки залишається, і як видно з таблиці 4.1 об'єми їх можуть сягати 4 %. Варто зауважити, що отримані об'єми можуть бути значно вищими, якщо проводити дослідження при збільшенні вищим ніж 1200 крат.

Таблиця 4.1 – Порівняльний аналіз розміру кварцових зерен та розміру газових включень, які містяться в них, після подрібнення породи для отримання показника загальної пористості

Геолого-промисловий район	Марка прилегло вугілля	Зразок пісковика	Розмір кварцових зерен, мм	Розмір включень в кварцових зернах, мм	Об'єм включ., %
Красноармійський (Шахта ім. О.Г. Стаханова)	ГЖ	3525	$\frac{0,15 - 1,45}{0,48}$	$\frac{0,0012 - 0,0021}{0,0015}$	4,0
Алмазно-Мар'ївський (Санжарівська площа)	К	3960	$\frac{0,15 - 2,2}{0,7}$	$\frac{0,00076 - 0,00127}{0,0011}$	3,2
	П	3954	$\frac{0,2 - 1,95}{0,73}$	$\frac{0,0007 - 0,0019}{0,0012}$	2,4

Таким чином, проведені дослідження дають підставу стверджувати, що закрыта пористість порід представлена двома типами. Перший тип – це закриті пори в цементуючій речовині породи. Він визначається за різницею між показниками загальної та відкритої пористості. Другий тип – це численні, переважно газові включення, в породоутворюючих зернах порід. Цей тип пористості утворюється шляхом міграції певної частини газу з відкритих пор та тріщин газоносних порід в мікродоформації породоутворюючих зерен, після заліковування яких, формуються мікропори. Для визначення цього типу пористості автором роботи запропоновано методику, яка буде детально описана у наступному розділі. Для повнішого розуміння терміну «закрита пористість» доцільно поділити її на цементну та зернову (рис. 4.9).

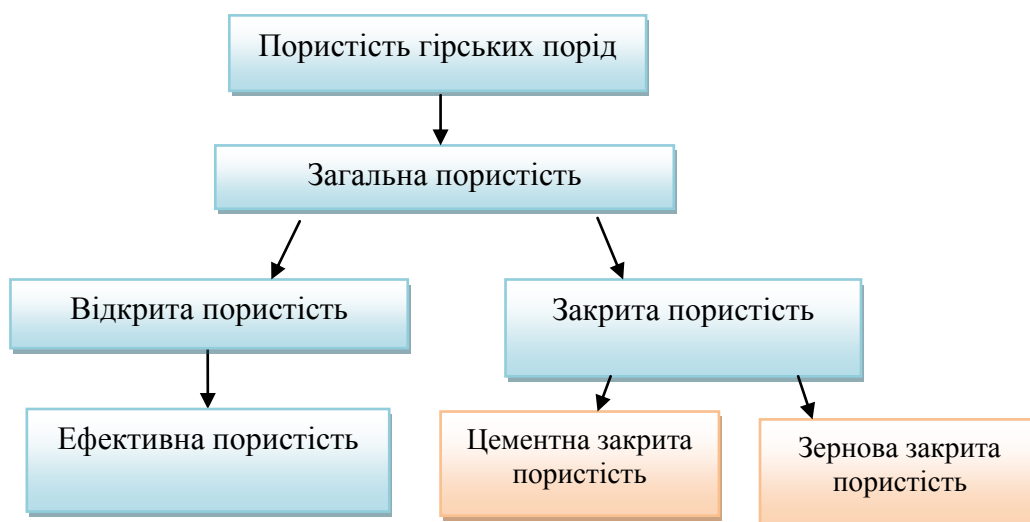


Рис. 4.9 Типи пористості порід з урахуванням цементної та зернової закритої пористості

Висновок до Розділу 4. Пористість порід є одним з показників, який характеризує якість породи-колектора. На практиці виділяють загальну, відкриту та ефективну типи пористості. Загальновідомі методи їх дослідження є ефективними та широко застосовуються в нафтогазовій геології та питаннях викидонебезпечності порід. На поровий простір порід Донбасу значний вплив мають постдіагенетичні та тектонічні процеси. Зі

збільшенням ступеня катагенезу та тектонічної напруги зменшуються показники загальної та відкритої пористості пісковиків, алевролітів, аргілітів. Зменшення порового простору вугілля відбувається, більшою мірою, при зростанні ступеня їх вуглефікації та меншою від дії тектоніки.

При дослідженні загальної пористості порід необхідно враховувати той об'єм закритих мікропор, який знаходиться в уламкових зернах. Дослідження показали, що більша частина цих мікропор не відкривається при подрібненні породи в лабораторних умовах для визначення показника загальної пористості. Тож, доцільно подрібнювати породу до частинок мікронного розміру, щоб отримати додатковий об'єм пористості за рахунок мікропор уламкових зерен.

В результаті досліджень виділено два підтипи закритої пористості порід – цементний та зерновий. Під цементною закритою пористістю слід розуміти об'єм ізолюваних пор в цементуючій речовині породи. Під зерною закритою пористістю слід розуміти об'єм мікрровключень в уламкових зернах породи.

Ефективним в дослідженні зернової закритої пористості є оптичний метод, за допомогою якого можна встановити форму, розміри то об'єми мікрровключень. Детальніше результати дослідження зернової закритої пористості будуть описані у наступному розділі.

РОЗДІЛ 5

ОПТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКРИТОЇ ПОРИСТОСТІ ПОРІД

5.1. Типи та умови утворення закритої пористості порід.

Дослідженням газових та газорідинних включень вченні займаються ще з середини 18 століття. Вагомий внесок в цьому напрямку зробили роботи Н.П. Єрмакова [49-51], Г.Г. Лемлейна [47, 48], В.А. Калюжного [52-54], Е.Реддера [3], , В.А. Баранова [6, 82], І.М. Наумко [59] та ін. Ці дослідження дозволили встановити форми знаходження цих включень у мінералах різного генезису, їх природу, закономірності трансформації, склад, а також температури гомогенізації та морфологічних змін. Дослідження включень були спрямовані на встановлення тиску та температури утворення мінералів та порід, виявлення етапів геологічних перетворень порід, ознак рудопроявів та ін.

В 80-ті роки минулого століття, при вирішенні питання викиднебезпечності порід Донбасу, проводилися оптичні дослідження газоносних пісковиків. За допомогою цих досліджень були встановлені основні типи включень в уламкових зернах порід, умови їх формування і трансформації, склад, температури гомогенізації та структурних перетворень [6].

Наявність та відмінні особливості первинних та вторинних включень в кварцових зернах пісковиків Донбасу вдалося встановити завдяки температурі їх гомогенізації. Так, температура гомогенізації первинних включень в 1,5-2 рази вище за температуру вторинних включень. Характерною особливістю первинних включень є те, що вони переважно газорідинні на відміну від вторинних, які є переважно газовими. Вторинні включення в кварцових зернах пісковиків Донбасу декорують

мікродеформації цих зерен, утворюючи таким чином так звані смужки Бьома. Газові включення смужок Бьома розглядаються як індикатори палеотемператур, в той час як самі смужки Бьома виступають індикаторами палеотиску. За складом, вклучення в кварцових зернах пісковиків Донбасу переважно представлені метаном, вуглекислим газом та азотом. Такі складові як водень, рідкі та інертні гази у сумі складають не більше 10-13 %. Слабодислоковані у тектонічному відношенні прибортові райони характеризуються великим діапазоном значень газових компонентів, підвищеним вмістом вуглекислоти в закритих мікропорах, різним складом газів у кварці та вміщуючому пісковику. Сильнодислоковані у тектонічному відношенні райони характеризуються незначним коливанням значень газових компонентів у кварці та вміщуючому пісковику [82].

В кварцових зернах пісковиків Донбасу газові, рідше газорідні включення представлені у вигляді ізольованих включень, імовірно первинних, або у вигляді смужок Бьома, подальша трансформація яких утворює так звану «губчасту» структуру [82], (рис. 5.1).

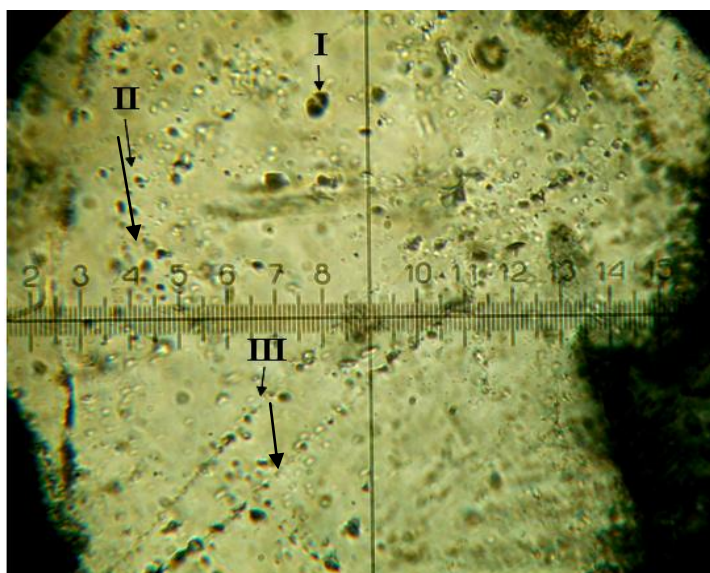


Рис. 5.1. Шліф пісковику L_7Sl_7 (кварцеве зерно), шх. ім. О.Г. Стаханова, глибина відбору проби 986 м, зб. 1200^x: I – первинне включення; II – «губчаста» структура; III – смужки Бьома.

Перший тип включень у кварцових зернах пісковиків Донбасу - це первинні включення, які були утворені ще в материнських породах.

Під первинним розуміють включення, моменту ізоляції якого відповідає певна зона росту кристала і яке знаходиться в контакт з цією зоною, або безпосередньо в ній [52]. Головною умовою первинності включення є його синхронність в часі та просторі з певною зоною росту кристала. За походженням первинні включення можуть бути аутигенними (захоплений кристалом матеріал того середовища, в якому утворився сам мінерал) та ксеногенними (включення, матеріал яких міг потрапити на грані кристала, що росте, випадково і походження якого не має відношення до утворення даного мінералу) [53].

Первинні включення у кварцових зернах пісковиків Донбасу добре ідентифікуються при оптичному дослідженні, оскільки переважно є двофазними та складаються з рідинної та газової фаз. Характерною рисою первинних газорідинних включень є їх форма. Зі збільшенням ступеню перетворення порід та тектонічної напруги вони «прагнуть» набутися структурну або морфологічну форму мінерала-господаря. Розмір первинних включень перевищує розмір вторинних, у середньому, в 1,5-2 рази та складає 1,5-2 мкм. Загалом, у кварцових зернах пісковиків Донецького басейну їх кількість складає 1-2 % від загальної кількості всіх включень.

Другий тип включень в кварцових зернах пісковиків Донбасу – це вторинні включення.

Вторинні включення утворюються при заліковуванні дефектних порожнин або тріщин у зерні породи. Як і первинні включення, за походженням вони можуть бути ксеногенними і аутогенними [52].

Ксеногенні вторинні включення утворюються у тому випадку, коли флюїд, тим або іншим способом, потрапляє в порожнини тріщин і при їх заростанні законсервовується у мінералі у вигляді окремих включень.

Аутогенні вторинні включення у свою чергу поділяються на ранньовторинні та пізньовторинні. Ранньовторинні аутогенні включення

мають сингенетичну зону росту кристала на відміну від пізньовторинних [52].

В роботі В.А. Калюжного [52], вчений звертає увагу на відносність поняття вторинності та первинності включень. Він пояснює це тим, що включення не можуть утворюватися поза матеріалом, в якому вони знаходяться. Тому, включення, які розташовані в залікованих тріщинах, є вторинними відносно кристала в цілому, але первинними до регенованої частини кристала, бо вони мають контакт з нею і сингенетичні їй.

Характерними ксеногенними вторинними включеннями у кварцових зернах пісковиків Донбасу є включення смужок Бьома.

Смужки Бьома - це мікроструктурні деформації кварцових зерен, які декоровані газовими, рідше газорідними, включеннями. При дослідженні шліфів пісковиків вони добре ідентифікуються при бічному освітленні [118].

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 [83].

Дослідження смужок Бьома в шліфах пісковиків Донецького басейну дозволило виділити їх в окремий тип мікроструктурних деформацій [6, 41]. Було доведено, що включення смужок Бьома є вторинними утвореннями, які сформувалися при трансформації вугленосного басейну в умовах катагенезу порід і дії тектоніки.

Кількість смужок Бьома закономірно збільшується від периферії басейну до його центральних районів та з палеоглибиною. Це перш за все пов'язано зі збільшенням тиску вуглепородного масиву, під дією якого в кварцових зернах пісковиків починають з'являтися мікротріщини, які в подальшому починають заліковуватися розчиненим кварцом.

Значна кількість смужок Бьома в кварцових зернах пісковиків Донбасу пов'язана з певною кількістю газу, який утворюється в процесі вуглефікації органічної речовини. Пісковик, як основний колектор, накопичує газ у відкритих порах та тріщинах. В кінці ранньої на початку середньої підстадії катагенезу, частина газу з міжзернового простору мігрує в мікротріщини в уламкових зернах пісковиків, після заліковування яких, формуються численні ланцюжки газових включень. Найбільша кількість смужок Бьома характерна саме для середньої підстадії катагенезу. На пізній підстадії катагенезу зменшуються розміри газових включень та їх кількість. Це пояснюється тим, що зі збільшенням катагенетичних перетворень та тектонічної напруги 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 [6].

Саме подрібнення включень, що складають смужки Бьома, і формує в подальшому «губчасту» структуру. Тобто «губчаста» структура є наступним кроком в перетворенні смужок Бьома [82]. Подібна структура характерна не тільки для пісковиків, але й для вугілля також [119].

Утворення «губчастої» структури зумовлене тим, що газові або флюїдні включення знаходяться під великим тиском, та «прагнуть» до енергетичної рівноваги. Саме це й призводить до подрібнення включень. 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 газ мігрує з зерен в зони меншого тиску, на границі зерен або в міжзерновий простір.

Отримані вченими данні, щодо дослідження газових та газорідних включень є фундаментальними та лягають в основу подальших досліджень в цьому напрямку.

Перш за все, для більш повного розуміння терміну «закрита пористість», автором цієї роботи запропоновано окремо виділяти цементну закрити пористість (об'єм закритих пор який міститься у цементі породи) та зернову закрити пористість (об'єм закритих пор, який міститься в уламкових зернах породи). Зернова закрити пористість в свою чергу, також ділиться на первинну закрити пористість, яка представлена ізольованими включеннями, утвореними ще в материнських породах та вторинну закрити пористість, яка утворилась безпосередньо в умовах басейну, при трансформації пісковиків під дією катагенезу. Вторинна зернова закрити пористість представлена смужками Бьома та «губчастою» структурою (рис. 5.2).



Рис. 5.2. Підтипи закритої пористості порід

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 мікродеформації кварцових зерен, після заліковування яких формується зернова замкнута пористість. Можливий зворотній процес, коли при тектонічному розвантаженні частина газу буде мігрувати з мікродеформацій 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 50 МПа [5]. Враховуючи додатковий тиск гірничого масиву, в якому знаходиться піскови́к, газові включення можуть надавати додатковий імпульс для газодинамічних проявів [120, 121].

Присутність газових включень в мінералах різних порід при зростанні температури та тиску призводить до появи внутрішнього напруження в мінералі, що провокує природну декрипітацію газових включень. Саме декрипітація газових включень може виступати додатковим енергетичним джерелом викиду порід. До того ж газ в замкнутих порах, послаблює міцність цементу пісковика і спільно з вільним газом у відкритих порах та тріщинах призводить до руйнування, подрібнення та виносу порід при викиді.

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

5.2 Методика дослідження замкритої пористості порід.

Одним з найголовніших питань у дослідженні зернової замкритої пористості є визначення об'ємів газових включень в уламкових зернах порід, оскільки це допоможе встановити додаткову кількість газу, яку вміщують замкнуті мікропори газоносних пісковиків Донбасу [122, 123].

Інформативним методом дослідження зернової замкритої пористості є оптичний метод. За його допомогою можна встановити форму включень, які утворюють зернову замкнуту пористість, їх розмір, кількість, об'єм та інші

показники. Вагомою перевагою оптичного методу є його економічність. Для його реалізації використовуються стандартні петрографічні шліфи, які виготовляються в лабораторіях геологічних організацій з метою визначення різних показників у мінералах та породах.

При дослідженні зернової закритої пористості автор роботи використовувала шліфи, які були виготовлені за стандартною методикою в лабораторіях ІГТМ НАН України, Донецького та Східного державних геологічних підприємств. Шліфи виготовлялися із проб пісковиків, які були відібрані з горизонтів розробки вугільних пластів та свердловин різних геолого-промислових районів Донбасу.

Шліфи досліджувалися на мікроскопі типу ПОЛАМ Р-111. Дослідження проводиться при збільшенні 1200 крат, з застосуванням об'єкт-мікрометра.

Одне з завдань дисертаційної роботи полягало 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. Її суть 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 (рис. 5.3). 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.

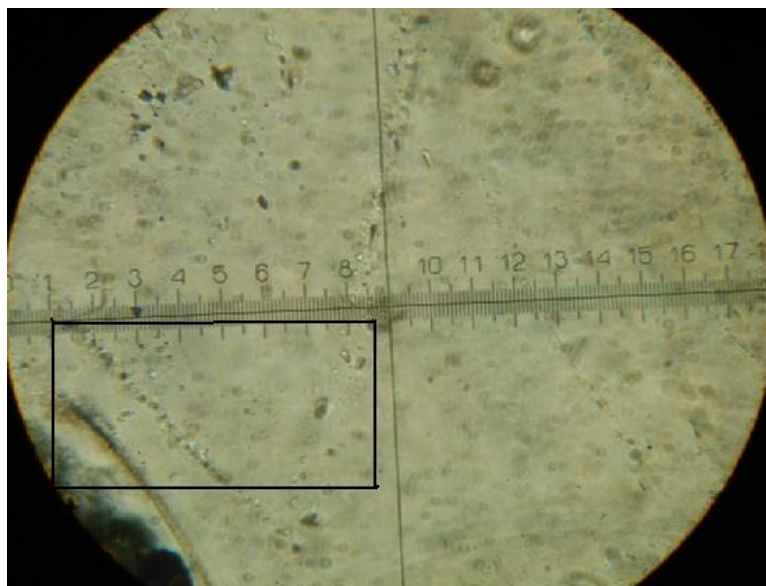


Рис. 5.3 Інформативна ділянка у кварцовому зерні пісковика

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 [52]. 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 (5.1), визначаємо об'єм включень в уламковому зерні породи.

$$V_{\text{вкл.}} = (S_{\text{вкл.}}/S_{\text{д.д.}}) \times 100 \% \quad (5.1)$$

де $V_{\text{вкл.}}$ – загальний об'єм газових включень;

$S_{\text{вкл.}}$ – загальна площа включень;

$S_{\text{д.д.}}$ – площа досліджуваної ділянки.

Необхідна кількість інформативних ділянок для дослідження в кожному з шліфів породи визначалася емпіричним шляхом згідно з методикою [124]. Після визначення об'єму включень у відсотках на кожній інформативній ділянці зерна у шліфі пісковика, що досліджувався, згідно з цією методикою,

значення заносилися у графу. Паралельно, у сусідню графу заносилися значення середнього накопиченого об'єму включень, які змінювалися в залежності від кількості досліджених інформативних ділянок. Зі збільшенням кількості останніх, коливання значень накопиченого середнього все більш звужуються і потім згасають, наблизившись до істинного значення (рис. 5.4).



Рис. 5.4 Зміна середнього накопиченого об'єму включень в залежності від кількості досліджених інформативних ділянок шліфа

Для досягнення величини відхилення від середньої в межах 5% необхідно зробити дослідження не менше 10-15 інформативних ділянок.

Дослідивши необхідну кількість інформативних ділянок у кожному з шліфів породи, розраховуємо середнє значення загального об'єму газових включень у прошарку породи.

Важливо зазначити, що той об'єм газу, який ми отримуємо за допомогою запропонованої методики не є абсолютним. При дослідженні шліфів пісковиків під загальним збільшенням 1200 крат найменший розмір включень, який ми можемо побачити складає 0,3-0,5 мкм. Дослідження шліфів під вищим збільшенням дозволило б побачити дрібніші включення та відповідно встановити додаткові об'єми газу закритих мікропор. Запропонована методика спрямована не на встановлення абсолютних

значень, а на дослідження закономірностей зміни об'ємів включень під дією різних процесів та умов, в яких знаходиться порода, що досліджується.

Тобто, для визначення цементної закритої пористості порід ми можемо використовувати загальновідомий, математичний метод, а для визначення зернової закритої пористості, метод підрахунку об'єму газових включень в уламкових зернах порід (рис. 5.5).

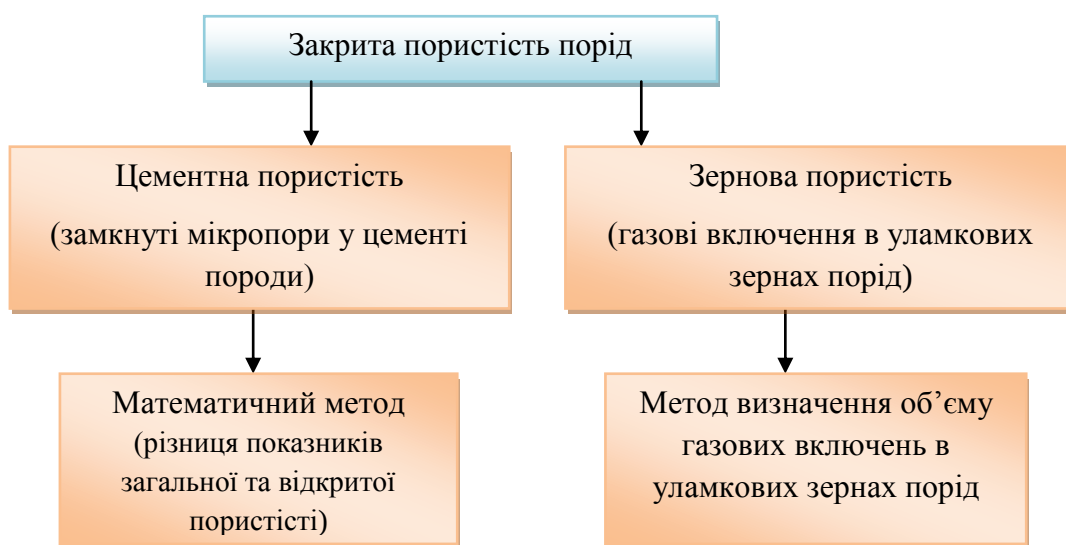


Рис. 5.5 – Методи визначення закритої пористості порід

На розроблену методику визначення об'єму газових включень в уламкових зернах порід отримано Патент на корисну модель № 132277 (Додаток Б).

5.3 Результати дослідження закритої пористості пісковиків Донбасу

Одним зі сформульованих завдань дослідження є встановлення основних закономірностей зміни закритої пористості пісковиків Донбасу в умовах катагенезу порід.

Унікальність Донецького басейну полягає у тому, що в ньому залягають породи всіх трьох підстадій катагенезу – ранньої, середньої та пізньої. Це дає можливість дослідити всі вторинні зміни порід, які відбуваються після діагенезу до перетворення їх у метаморфічні породи.

Катагенез характеризується зміною термобаричних та геохімічних умов, які мають вагомий вплив на мінеральний склад порід, фізико-механічні властивості та ін.

В роботі [82, 125-128] доведено, що при ущільненні пісковиків під дією катагенетичних та тектонічних процесів частина газу, який міститься у відкритих порах та тріщинах, мігрує в зони розвитку пластичних мікродеформацій в уламкових зернах порід. Саме це призводить до формування вторинної закритої пористості. Розглянемо цей процес більш детально.

Для того щоб правильно описати процес перетворення газових включень під дією катагенезу, була сформульована задача детального дослідження включень у кварцових зернах пісковиків, які вміщують вугілля різних марок. Для вирішення цієї задачі досліджувалися шліфи пісковиків, відібрані в районах поширення вугілля марки Д (Павлоградсько-Петропавлівський ГПР, ш. Благодатна, пісковик C_5Sc_7 , глибина відбору проб 210 м), ДГ (Красноармійський ГПР, ш. Курахівська, пісковик I_1Sl_2 , глибина відбору проб 550 м), Г (Павлоградсько-Петропавлівський ГПР, діл. Брагинівська, пісковик $C_{10}Sc_{12}$, глибина відбору проб 448 - 485 м), ГЖ (Красноармійський ГПР, ш. ім. О.Г. Стаханова, пісковик $I_2SL_2^1$, 781-874 м), Ж (Красноармійський ГПР, ш. ім. О.Г. Стаханова, пісковик L_7Sl_7 , глибина відбору проб 1139 м), ЖК (Донецько-Макіївський ГПР, ш. ім. О.Ф. Засядька, пісковик $L_1SL_2^1$, глибина відбору проб 892-924 м), К, ПС, П (Алмазно-Мар'ївський ГПР, Санжарівська площа, пісковик O_1SO_2 , глибина відбору проб 540 м; пісковик $m_6^2Sm_6^3$, глибина відбору проб 1782 м; пісковик m_3Sm_4 , глибина відбору проб 2311 м) та А (Довжано-Ровенецький ГПР, ш. Ровеньківська, пісковик h_1Sh_3 , глибина відбору проб 480 м).

Шліфи досліджувалися з використанням мікроскопа ПОЛАМ - P111 при збільшенні від 100 при бічному освітленні до 1200 крат і прохідному світлі із застосуванням імерсійної рідини. Включення і мікродеформації враховувалися в кварцових зернах при їх розмірі не менше 0,05 мм, який

відповідає мінімальному розміру зерен піщаної фракції. Оскільки, збільшення в 100 крат не дозволяє детально розглянути включення і мікродеформації в кварцових зернах, подальші дослідження проводилися при збільшенні 1200 крат.

Для зерен кварцу пісковиків, відібраних в районах поширення вугілля марок Д, Г характерна наявність як мікротріщин, так і в невеликій кількості смужок Бьома, які утворилися в результаті заліковування цих мікротріщин розчиненим кварцом. На рисунку 5.6 представлена мікротріщина в зерні кварцу ще не залікована поровими розчинами, що вказує на початкову стадію процесу. Ця мікротріщина представлена зігнутою смугою, довжина якої становить близько 80 мкм.

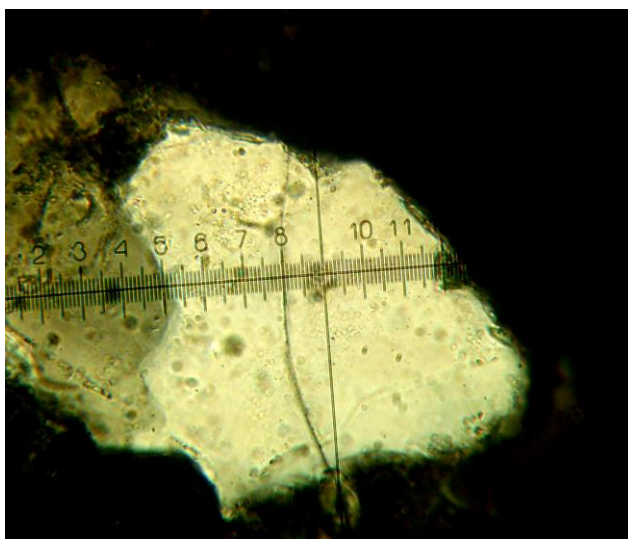


Рис. 5.6. Мікротріщина в зерні кварца пісковика C_5Sc_7 , глибина відбору проби 210 м, ш. Благодатна, Павлоградсько-Петропавлівський ГПР, зб. 1200^x

На рисунку 5.7 видно систему субпаралельно розташованих мікродеформацій, які декоровані мікроскопічними газовими включеннями, точний розмір яких визначити досить важко. Ці мікротріщини знаходяться на етапі заліковування вторинним кварцем з формуванням газових включень, результатом чого є поява закритих пор, сукупність яких формує смужки Бьома.



Рис. 5.7 Система субпаралельних смужок Бьома в зерні кварцу пісковика I_1Sl_2 , глибина відбору проби 450 м, ш. Курахівська, Красноармійський ГПР, зб. 1200^x

Таким чином, для карбонових пісковиків Донбасу на ранній підстадії катагенезу, характерним є етап зародження вторинної зернової закритої пористості. Оскільки на початку ранньої підстадії катагенезу кварцові зерна починають деформуватися, з появою в них мікродеформацій, частина флюїду, що міститься у поровому просторі породи, мігрує в ці мікродеформації. В кінці ранньої підстадії катагенезу мікродеформації починають заліковуватися поровими розчинами і утворювати смужки Бьома.

В зернах кварцу пісковиків середньої підстадії катагенезу, кількість смужок Бьома значно збільшується. Включення смужок Бьома чітко виражені, мають ізометричну форму. Розмір включень в середньому складає 1-2 мкм. В одному кварцовому зерні може зустрічатися до 3-6 систем смужок Бьома, які представлені субпаралельними смугами, довжина яких сягає 120 мкм (рис. 5.8).

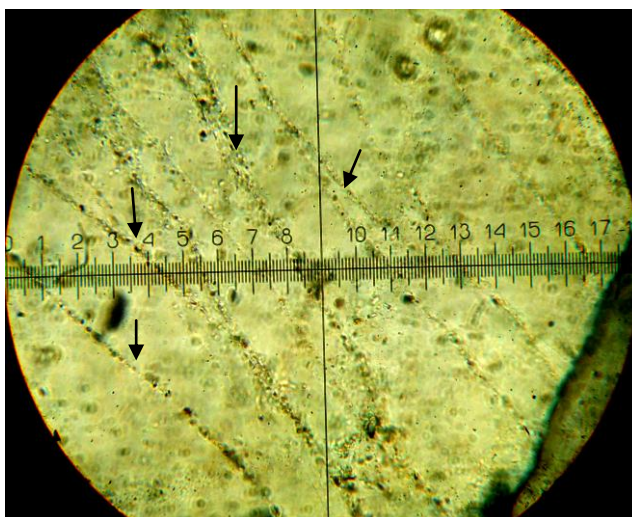


Рис. 5.8 Система субпаралельних смужок Бьома в кварцовому зерні пісковика l_7Sl_7 , глибина відбору проби 1139 м, ш. ім. О.Г. Стаханова, Красноармійський ГПР, зб. 1200^x

Пісковики середньої підстадії катагенезу є найбільш інформативними для вивчення вторинної закритої пористості. Саме для цієї підстадії характерна найбільша кількість смужок Бьома та поява «губчастої» структури (рис. 5.9).

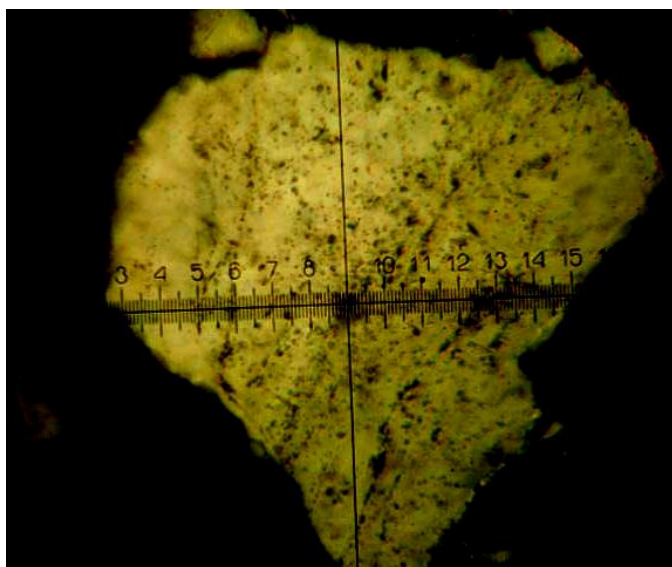


Рис. 5.9 «Губчаста» структура у кварцовому зерні пісковика $l_2SL_2^1$, глибина відбору проби 897 м, ш. ім. О.Г. Стаханова, Красноармійський ГПР, зб. 1200^x

На пізній підстадії катагенезу, в кварцових зернах пісковиків, газові включення мають неправильну, місцями витягнуту форму (рис. 5.10). Кількість смужок Бьома в кварцових зернах значно менша. Їх середня довжина сягає 60 мкм. Включення, які декорують смужки, дуже дрібні, в середньому їх розмір досягає 0,5-1 мкм.



Рис. 5.10 Смужки Бьома у кварцовому зерні пісковика $h_{10}Sh_{11}$, глибина відбору проби 480 м, ш. Ровеньківська, Довжано-Ровенецький ГПР, зб. 1200^x

Дослідження кварцових зерен пісковиків відібраних в межах розвитку вугілля марок Д-А показало, що розмір флюїдних включень в кварцових зернах карбонових пісковиків Донбасу зменшується за лінійною залежністю, (показник достовірності апроксимації (R^2) - 0,9) при зростанні ступеня катагенезу (рис. 5.11).

Варто зазначити, що мінімальний розмір включень 0,3 мкм, відображений на рис. 5.11 це той розмір, який можливо побачити при дослідженні шліфів під збільшенням в 1200 крат. Звичайно, що дослідження при збільшеннях які перевищують 1200 крат, дозволяють встановити менші за розміром включення.

Не виключено, що з подальшим збільшенням температури та тиску на вуглепородний масив включення можуть подрібнюватися до атомарного

рівня. Для підтвердження або спростування цієї гіпотези необхідні додаткові дослідження.

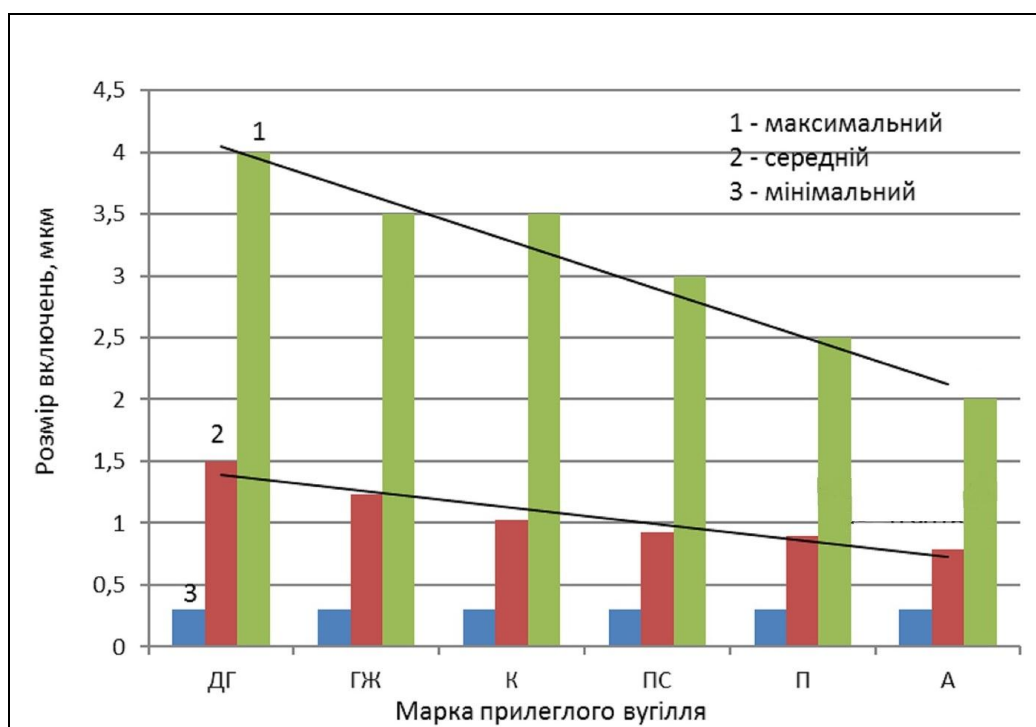


Рис. 5.11 Вплив ступеня перетворення порід на розмір флюїдних включень в кварцових зернах пісковиків

Дослідження пісковиків Донбасу на мікрорівні з застосуванням методики визначення об'єму газових включень в уламкових зернах порід [116] дозволило встановити об'єми газу в кварцових зернах порід на різних підстадіях катагенезу.

Завдяки дослідженням встановлено, що середні показники об'єму зернової закритої пористості в декілька разів перевищують середні показники цементної закритої пористості (рис. 5.12).

Встановлено, що об'єми зернової закритої пористості змінюються за поліноміальною залежністю (показник достовірності апроксимації (R^2) - 0,93) при зростанні ступеня катагенетичних перетворень.

Для ранньої підстадії катагенезу характерні незначні об'єми, які складають приблизно 2 %. Це пов'язано з тим, що мікродеформації в кварцових зернах починають появлятися та поступово заліковуватися

флюїдом саме на ранній підстадії. Найбільші об'єми зернової закритої пористості пісковиків характерні для середньої підстадії катагенезу і сягають 4 %. Для середньої підстадії катагенезу характерна найбільша кількість мікродеформацій. Газові включення в цих мікродеформаціях, мають чіткі форми, розміри. Саме пісковики середньої підстадії катагенезу є найбільш інформативним з точки зору вивчення газових включень в уламкових зернах порід Донбасу. На пізній підстадії катагенезу об'єми газових включень зменшуються та сягають 2 %. Це пов'язано з тим, що на пізній підстадії катагенезу, під впливом великого тиску, починає перетворюватися структура кварцу. Монолітне зерно перетворюється на агрегат, його частини очищуються, деформації та мікровключення переходять на границі зерен.

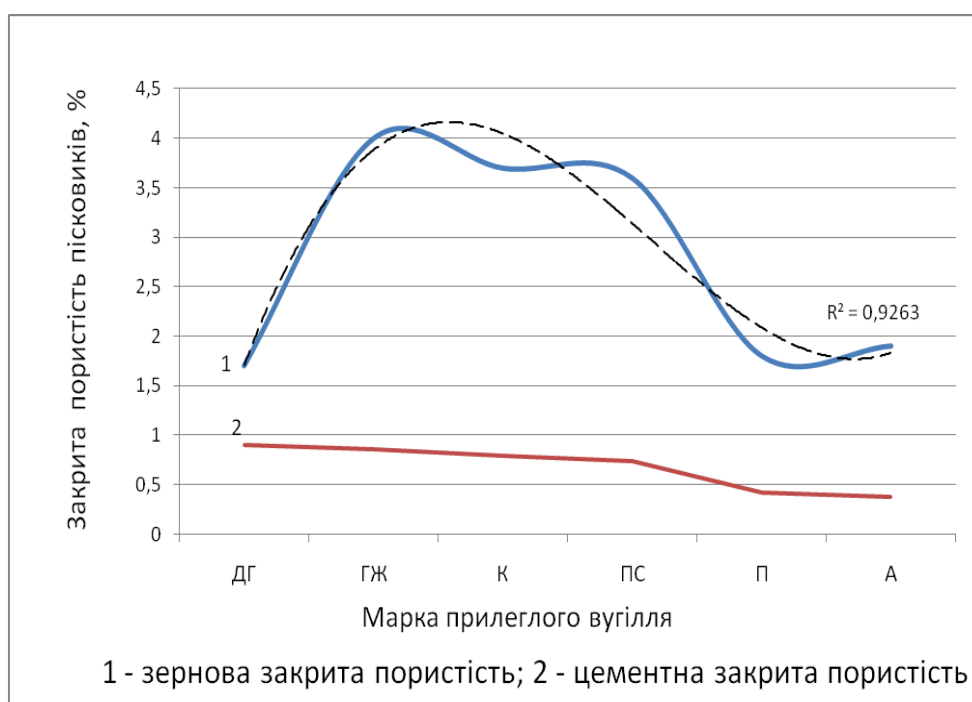


Рис. 5.12 – Вплив катагенезу на перетворення закритої пористості пісковиків Донбасу

Важливо зазначити, що викиди пісковиків мають місце тільки на середній підстадії катагенезу, для якої характерні найбільші значення закритої пористості.

Загальна пористість пісковиків середньої підстадії катагенезу складає приблизно 7-9 %, але враховуючи кількість газу в уламкових зернах може досягати 11-13 %. Цей показник є суттєвим, з огляду на те, що викиди пісковика є можливими при загальній пористості більше ніж 5,5 [22], (рис. 5.13).

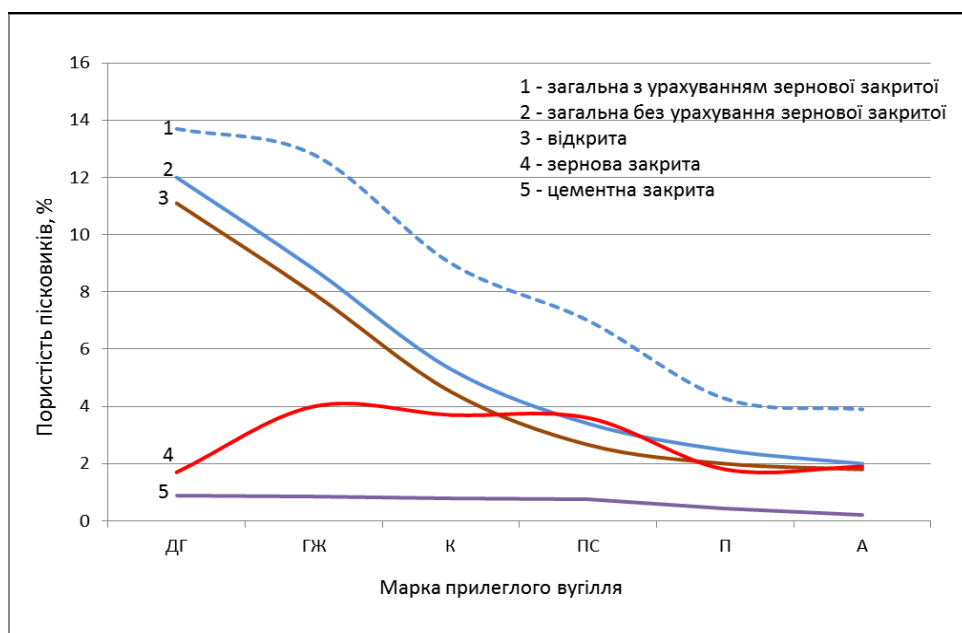


Рис. 5.13 Вплив катагенезу на перетворення різних типів пористості пісковиків Донбасу

Об'єми закритої пористості, які ми отримуємо за допомогою запропонованої методики, не є абсолютними. Дослідження шліфів оптичним мікроскопом при збільшенні 1200 крат дозволяють побачити включення з мінімальним розміром 0,3 мкм. Більш детальні дослідження шліфів дозволили б встановити додаткові об'єми газу закритих мікропор. До того ж, враховуючи великий тиск, під яким знаходяться включення, отримані розрахунковим методом значення можуть бути вищими.

Для дослідження впливу сучасної глибини залягання порід на зміну об'ємів флюїдних включень в кварцових зернах пісковиків використовувалися шліфи з проб пісковиків, які були відібрані на Санжарівській площі. Особливістю проб пісковиків Санжарівської площі є

те, що вони відібрані з однієї свердловини, в інтервалі глибин 540,1-2327,5 м при цьому марки прилеглого вугілля змінюються від К до Т. За допомогою кореляційного аналізу визначено, що сучасна глибина залягання порід не впливає на об'єми флюїдних включень в кварцових зернах пісковиків Донбасу ($r = -0,24$).

5.4 Обробка результатів методами математичної статистики

Для обробки отриманих даних в дисертаційній роботі використовувалися кореляційний та дисперсійний аналізи.

Кореляційний аналіз використовувався для встановлення залежності зміни об'ємів флюїдних включень в уламкових зернах пісковиків від сучасної глибини залягання порід.

Завдяки аналізу встановлено, що сучасна глибина залягання порід не впливає на зміну об'ємів флюїдних включень кварцових зерен пісковиків ($r = -0,24$).

Для оцінки ступеня впливу катагенетичних перетворень на об'єм флюїдних включень в кварцових зернах пісковиків Донбасу використовувався однофакторний дисперсійний аналіз (ДА).

Оцінка впливу ступеня катагенезу пісковиків на однорідність вибірки (показників об'ємів флюїдних включень) проводилася шляхом поділу загальної дисперсії ознаки ($S^2_{\text{заг}}$) на два типи - міжгрупову або факторну дисперсію ($S^2_{\text{ф}}$) та внутрішньогрупову або залишкову дисперсію ($S^2_{\text{зал}}$) після чого проводилася перевірка гіпотези про вплив ступеня катагенезу на об'єм флюїдних включень за допомогою критерію Фішера.

Для реалізації цього методу, на початку, розраховувалися суми квадратів загальних ($SS_{\text{заг}}$), факторних ($SS_{\text{ф}}$) та залишкових ($SS_{\text{зал}}$) відхилень значень ознак від середнього.

Зазначені показники підраховувалися за наступними формулами:

$$SS_{\zeta\hat{a}\hat{a}} = \sum_{j=1}^{\ddot{u}} \sum_{i=1}^{nj} (U_{ij} - \bar{U})^2, \quad (5.2)$$

де $\bar{U}$ - генеральне середнє по всій вибірці.

$$SS_{\hat{o}} = \sum_{j=1}^m nj \times \left(U_j - \bar{U} \right)^2, \quad (5.3)$$

де U_j – групові середні на кожному рівні фактору.

$$SS_{\zeta\hat{a}\hat{e}} = \sum_{j=1}^{\ddot{u}} \sum_{i=1}^{nj} (U_{ij} - U_j)^2 \quad (5.4)$$

Згідно з підрахунками: $SS_{\text{заг}} = 156,2$; $SS_{\text{ф}} = 75,18$; $SS_{\text{зал}} = 81$.

Враховуючи отримані дані, було розраховано дисперсії: загальну

$$S_{\zeta\hat{a}\hat{a}}^2 = \frac{SS_{\zeta\hat{a}\hat{a}}}{N-1}, \text{ факторну } S_{\hat{o}}^2 = \frac{SS_{\hat{o}}}{m-1}, \text{ залишкову } S_{\hat{o}}^2 = \frac{SS_{\zeta\hat{a}\hat{e}}}{N-m} \text{ та отримано}$$

наступні показники: $S_{\text{заг}}^2 = 1,5$; $S_{\text{ф}}^2 = 12,5$; $S_{\text{зал}}^2 = 0,82$.

На підставі отриманих показників розраховувався критерій Фішера, за

$$\text{формулою: } F_{\delta\hat{\zeta}\delta\hat{o}} = \frac{S_{\hat{o}}^2}{S_{\zeta\hat{a}\hat{e}}^2}. \text{ Відповідно отримано } F_{\text{розрах}} = 15,1.$$

За допомогою $F_{\text{розрах}}$ критерію Фішера оцінено вплив ступеня катагенезу на об'єм газових включень у кварцових зернах пісковиків.

Якщо $F_{\text{розрах}} < F_{\text{теор}}$, то нульова гіпотеза про відсутність впливу фактору, що аналізується приймається, а якщо $F_{\text{розрах}} > F_{\text{теор}}$, то відхиляється, тобто вплив фактору на мінливість ознаки визнається статистично вагомим.

$F_{\text{теор}} = 2,19$, тобто $< F_{\text{розрах}}$, відповідно нульова гіпотеза про відсутність впливу фактору на мінливість ознаки відхиляється.

Отримані результати аналізу дозволяють стверджувати про вплив катагенезу на об'єм флюїдних включень у кварцових зернах пісковиків.

За результатами аналізу побудовано графік зміни середнього значення об'єму включень у кварцових зернах пісковиків в залежності від фактору «катагенез» (рис. 5.14)

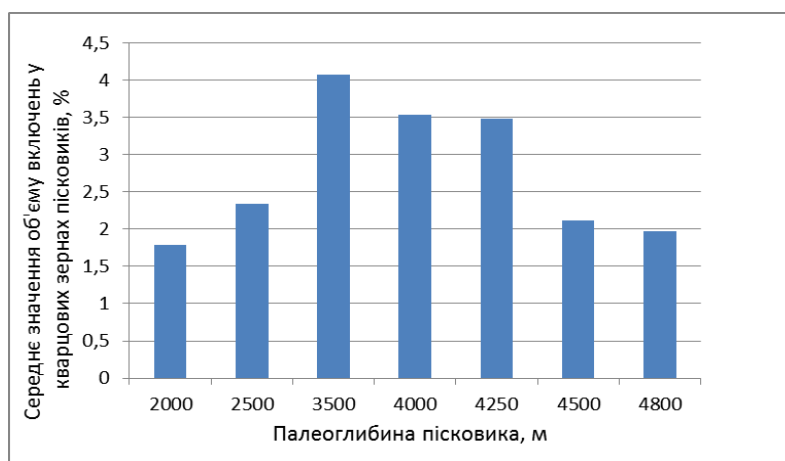


Рис. 5.14 Зміна середнього значення об'єму включень у кварцових зернах пісковиків в залежності від ступеня катагенезу

Достовірність отриманих результатів була перевірена за допомогою вбудованої в пакет «Аналіз даних» програми «Однофакторний дисперсійний аналіз» в MS Excel, яка підтвердила правильність отриманих розрахунковим методом значень (рис. 5.15).

Однофакторный дисперсионный анализ						
ИТОГИ						
Группы	Счет	Сумма	Среднее	Дисперсия		
Столбец 1	15	26,8	1,786666667	0,229809524		
Столбец 2	15	35,17	2,344666667	0,85708381		
Столбец 3	15	61,16	4,077333333	1,303849524		
Столбец 4	15	52,91	3,527333333	0,361806667		
Столбец 5	15	52,28	3,485333333	1,427255238		
Столбец 6	15	31,74	2,116	1,005868571		
Столбец 7	15	29,52	1,968	0,60206		
Дисперсионный анализ						
Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Между группами	75,18187	6	12,53031206	15,15484204	3,31487E-12	2,192517789
Внутри групп	81,02827	98	0,826819048			
Итого	156,2101	104				

Рис. 5.15 Результати виконання однофакторного ДА за допомогою пакету «Аналіз даних» в MS Excel

Таким чином, за допомогою кореляційного та дисперсійного аналізів встановлено: відсутність впливу сучасної глибини залягання порід на об'єм флюїдних включень у кварцових зернах пісковиків; залежність середнього значення об'єму включень від ступеня катагенезу порід.

5.5 Онтогенез зернової закритої пористості

Під терміном «онтогенез» розуміють весь етап розвитку, від зародження до анігіляції (лат. *«annihilatio»* - повне знищення) [129]. Першим в геологію цей термін ввів Д.П. Григор'єв, започаткувавши теорію онтогенії мінералів – учення про генезис і еволюцію мінеральних індивідів і агрегатів. [130].

В питанні дослідження зернової закритої пористості термін «онтогенез» доцільно використовувати для описання процесу перетворення флюїдних включень, які утворюють цей підтип пористості, в умовах катагенезу порід.

Дослідження кварцових зерен пісковиків Донбасу на мікрорівні дозволило описати весь етап зародження, розвитку та анігіляції вторинної зернової закритої пористості, яка представлена включеннями смужок Бьома та «губчастою» структурою.

Онтогенез вторинних флюїдних включень в уламкових зернах пісковиків Донбасу, відбувається наступним чином.

На ранній підстадії катагенезу, під дією літостатичного навантаження порід, які залягають вище за розрізом, та тектонічної напруги, відбувається ущільнення порід. При цьому, в каркасному та найбільш крихкому породоутворюючому мінералі – кварці, починають утворюватися чисельні мікродеформації.

Варто зазначити, що дослідження насамперед кварцу проводилося тому, що він є основним породоутворюючим мінералом пісковиків Донбасу, та в кількісному відношенні складає від 40 до 80 % і більше [131].

Першим, на виникнення тріщинуватості у кварці при його поліморфних перетвореннях, звернув увагу О.Є. Ферсман [132]. Він встановив, що при

різкому зменшенні об'єму при α - β переході у кварці починають з'являтися численні тріщини і полігональні ділянки, які в розрізі мають вигляд неправильних стільниковидних утворень. Звідси й з'явилась назва «стільниковий» кварц.

Ю.О. Долгов [133] вважав причиною утворення «стільникового» кварцу різку зміну температури, що відбувається внаслідок адіабатичного розширення при розкриванні мінералоутворюючої системи.

Питанням утворення тріщин в результаті розрядки напруженого стану в мінералі займався О.О Штеренберг (1955). Досліджуючи штучно вирощені кристали, він встановив, що тріщини з'являються послідовно в процесі наростання грані. Кількість тріщин залежить від швидкості росту кристала. При повільній кристалізації тріщини не виникають. Чим більша швидкість відкладання матеріалу тим більша кількість тріщин [52].

За Л.Б Рухіним [134], мікротріщини у кварцових зернах пісковиків починають з'являтися на глибині більше 2000 м. Палеоглибина занурення пісковиків ранньої підстадії катагенезу (марки прилеглого вугілля ДГ) за даними [94] складає приблизно 2000 м.

Після утворення чисельних мікротріщин, флюїд, який знаходиться в порах пісковиків під тиском, дифузійним шляхом мігрує в утворені мікродеформації. Наступним етапом є заліковування мікротріщин вторинним кварцом під дією фізико-хімічних процесів [50] та утворення окремих флюїдних включень.

В роботі [52] зазначено, що вторинні включення характеризуються близькою специфікою утворення, не зважаючи на те, що матеріал може привноситися з зовні розташованого маточного розчину дифузією. Автор зазначає, що при утворенні вторинних включень велику роль відіграє ширина тріщин. Саме від ширини тріщини залежить швидкість привнесення флюїду та процес її заростання.

Подальше зростання напруженого стану вуглепородного масиву яке відбувається вже на середній підстадії катагенезу призводить до появи нових

мікроструктурних деформацій у кварцових зернах пісковиків, перетворення флюїдних включень, для яких вже є характерними чіткі ізометричні форми та початку диференціації включень на дрібніші за розміром. Диференціація включень призводить до появи «губчастої» структури.

Пізня підстадія катагенезу визначається жорсткими фізико-механічними та фізико-хімічними умовами перетворення осадових порід. На якісному рівні, при оптичному дослідженні пісковиків пізньої підстадії катагенезу, помітно значне зменшення кількості та розмірів флюїдних включень у кварцових зернах. Характерним є зміна форми включень. Вони мають витягнуту форму, а для деяких включень характерні ограновані форми.

Проведені оптичні дослідження зернової закритої пористості дають підставу стверджувати, що при збільшенні температури та тиску у вуглепородному масиві, флюїд, який знаходиться у порі під великим тиском, прагне до енергетичної рівноваги, наслідком чого є подрібнення пори. Під впливом катагенетичних перетворень в осадових породах змінюється структура зерен, починають з'являтися блокування та грануляція, для яких характерними є самоочищення новоутворених блоків та гранул, за І.М. Симановичем [135]. В результаті цього процесу газ як би розчиняється у мінералі та утворює пори в тисячні та соті мікрон, після чого дифузійним шляхом мігрує в зони найменших тисків. Розглянемо цей процес більш детально.

Породоутворюючі зерна пісковиків на пізній підстадії катагенезу сильно стиснуті і як би спаяні кварцовим або глинисто-карбонатним цементом. Широко розвинені мікродеформації сприяють процесам подрібнення зерен на окремі блоки.

При вивченні дифузійних процесів, Б.Я. Любов [136] зазначив, що зі збільшенням розорієнтування зерен у породі збільшується дифузійна проникність міжзернових границь. За даними автора коефіцієнт міжзернової дифузії швидко збільшується при збільшенні кута розорієнтування зерен і при показнику цього кута в 30^0 збільшується в понад десять разів. Каналами

для дифузії можуть бути структурні деформації зерен, які порушують їх цілісність на рівні кристалічної ґратки. Враховуючи чисельні мікродеформації у кварцових зернах пісковиків Донбасу, стає очевидним, що дифузія газів зернової закритої пористості може відбуватися в значних об'ємах.

Молекулярна дифузія вуглеводнів може додатково пояснювати утворення вуглеводневих сполук в осадових та інших породах. Цей процес можна представити таким чином: утворення мікродеформацій в уламкових зернах породи, міграція в них флюїду, заліковування мікродеформацій та утворення окремих включень, подрібнення включень під дією катагенетичних процесів, утворення природних молекулярних сит, міграція флюїдів з мікровключень в зони менших тисків та температури, утворення вуглеводневих скупчень в породах з високими колекторськими властивостями.

5.5 Практичне значення дослідження закритої пористості порід

Вдосконалення методу дослідження відкритої пористості порід ґрунтується на необхідності враховувати зернову закриту пористість [123]. Наведені в дисертаційній роботі результати дослідження показали, що в уламкових зернах пісковиків Донбасу знаходиться до 3-4 % газу. Розмір газових включень у кварцових зернах пісковиків складає 1-3 мкм. Це ті показники, які можливо встановити при дослідженні шліфів оптичним мікроскопом, при збільшенні 1200 крат. Дослідження шліфів при вищих цифрах збільшення дозволило б встановити ще менший розмір включень та відповідно додаткові об'єми газу.

При встановленні коефіцієнта загальної пористості породи подрібнюють до розміру породоутворюючих зерен. Це не дозволяє розкрити той об'єм газу, який міститься в зернах породи. Для отримання додаткового об'єму газу породи важливо подрібнювати до розміру частинок, який би дозволив

розкрити мікронні пори. Іншим методом є визначення показника зернової закритої пористості розрахунковим способом [106].

Показники зернової закритої пористості можуть суттєво доповнювати показники загальної пористості (табл. 5.1). Особливо це має значення на середній підстадії катагенезу порід, коли їх значення є максимальними. Так, наприклад, для пісковиків шахти ім. О.Г. Стаханова (Красноармійський ГПР, марка прилеглого вугілля ГЖ) коефіцієнт загальної пористості в середньому складає 10,4 %. Враховуючі додаткові 4 % зернової закритої пористості, він сягає 14,4 %. Для пісковиків шахти ім. О.Ф. Засядька (Донецько-Макіївський ГПР, марка прилеглого вугілля ЖК) коефіцієнт загальної пористості в середньому складає 9,1%, але з урахуванням зернової закритої пористості зростає до 12,8 %.

Таблиця 5.1 – Показники пористості пісковиків Донбасу з урахуванням зернової закритої пористості

Геолого-промисловий район	Шахта	Пористість, %				
		Загальна		Відкрита	Закрита	
		Без урахування зернової закритої пористості	З урахуванням зернової закритої пористості		Цементна	Зернова
Павлоградсько-Петропавлівський	Благодатна	20,8	22	19,6	1,2	1,2
	діл. Брагинівська	18,4	19,9	16,7	1,7	1,5
Красноармійський	Курахівська	18,7	20,68	17,2	1,5	1,98
	ім. О.Г. Стаханова	10,4	14,4	9	1,4	4
Донецько-Макіївський	ім. О.Ф. Засядька	9,1	12,8	7,6	1,5	3,7

Продовження таблиці 5.1

Алмазно-Мар'ївський	Санжарівська площа	3,8	6,9	3,2	0,6	3,1
Довжано-Ровенецький	Ровеньківська	3	4,86	2,1	0,9	1,86

Особливу увагу потрібно приділяти дослідженню зернової закритої пористості при вирішенні проблеми термічних та газодинамічних явищ у гірничих виробках.

Техногенний вплив на породу при розробці вугільних родовищ часто призводить до появи термічних ефектів. При роботі прохідницького чи очисного комбайна з'являється фрикційне іскріння. Фрикційні іскри утворюються при ударі, терті виконавчого органу об породу, піритові включення, які знаходяться у породі, в процесі руйнування масиву гірських порід і пов'язані з перетворенням частини кінетичної енергії механічної взаємодії в теплоту з подальшим екзотермічним окисленням і розігріванням частинок. Іскри являють собою уламки розпечених породних зерен і частинок металу (температура 500-700° С). У разі подальшого зростання швидкості збільшується температура іскор (700-1400° С) і іскровий потік [137].

Аналіз спалахів й вибухів метану, а також вугільного пилу, що мали місце в очисних та підготовчих виробках, показали, що фрикційне іскріння, яке виникає при руйнуванні масиву гірських порід, може привести до аварій з тяжкими матеріальними та соціальними наслідками [137].

На шахті «Краснолиманська» (2007 р.) та шахтах Західного Донбасу (2009, 2011 рр.) відбулися аварії, де джерелом займання метаноповітряної суміші стало фрикційне іскріння, що виникло в результаті тертя зубків шнека виконавчого органу очисного комбайна об включення піриту в вугільному пласті [138]. Загалом, фрикційне іскріння займає друге місце серед усіх можливих джерел займань у вугільних шахтах [137]. У 55 % випадків

причиною було тертя зубків об пірит, що знаходиться у вугільних пластах у вигляді включень, і в 15 % випадків – при різанні пісковиків. Також відомі випадки вибухів метану від фрикційного іскріння при терті зубків об вапняк. Таким чином, таке явище, як фрикційне іскріння багато в чому залежить від мінералогічного складу гірських порід.

Як вже було зазначено вище, більша частина вибухів метану та загоряння у вугільних шахтах відбувається при фрикційному іскрінні порід з великим вмістом піриту. Це відбувається тому, що пірит виділяє сірководень, для якого характерна невелика температура самозаймання. Нижня концентраційна межа займання – 17 г/м^3 ; температура самозаймання - 190°C . Сірководень, що виділяється з рідкої сірки вибухає при об'ємній концентрації від 4,3 до 45 %; температура самозаймання 260°C [139]. Іскра, що виникає при терті металу об пірит, здатна ініціювати вибух газоповітряної суміші при достатній концентрації сірководню. Температура займання метану може бути нижче зі збільшенням температури навколишнього середовища і тиску. Особливо сильний ефект може виникати при наявності в повітрі крім метану, оксиду вуглецю, водню і сірководню. В такому випадку займання метану відбувається миттєво [140].

У світовій практиці були описані випадки займання горючих матеріалів під час посадки покрівлі порід при відсутності пластів вугілля. Ще в 1913 р. англійські вчені провели експерименти зі зразками пісковиків, в яких були зафіксовані подібні випадки займання. У кожному експерименті вдавалося запалити суміші метану з повітрям різної концентрації. За отриманими даними був зроблений висновок, що суміш метан-повітря може займатися від іскри, що утворюється при терті пісковика об пісковик [140].

У вугільних басейнах СНД нараховується близько 19 % пластів з боковими породами, здатними при терті утворювати вибухонебезпечне іскріння, причому близько 38 % вміщуючих порід складають пісковики [137].

При петрографічних дослідженнях пісковиків Донбасу, в яких були зафіксовані ефекти іскріння не було знайдено включень піриту. Це дало

можливість виключити цей фактор впливу на зазначене явище. Не дивлячись на це, деякі зразки мали сильний ефект іскріння.

За нашими експериментальними даними, виникнення іскріння безпосередньо залежить від мінералогічного складу порід. Чим більше кількість й розмір уламкових зерен у породі, тим жорсткіше скелет породи та сильніше проявляється даний ефект. Зменшення уламкових зерен у породі, зменшення їх розмірів, збільшення кількості мінералів цементу порід, призводить до зменшення інтенсивності іскріння.

У більшості випадків кварцові зерна пісковиків мають велику кількість мікродеформацій. До того ж, чим більші зерна за розміром тим більше мікродеформацій вони мають.

Одним з найбільш поширених типів мікродеформацій у кварцових зернах пісковиків Донбасу є смужки Бьома. Це мікротріщини в зернах, які заповнені флюїдом. Після заліковування зазначених мікротріщин утворюються чисельні газові та газорідні включення, які знаходяться під певним тиском. При руйнуванні масиву гірських порід пісковик перш за все буде руйнуватися по ослабленим зонам, якими і є чисельні мікродеформації в уламкових зернах.

Присутність газових включень в мінералах пісковика при зсувних деформаціях призводить до появи внутрішнього напруження в мінералі, що провокує природну декрепітацію газових включень [3]. Більш того, тертя руйнує частину мінералів, які знаходяться в місці контакту. Все це в сукупності призводить до вивільнення газових включень. Розкриття частини газових включень в площині дії зсувної деформації призводить до виділення додаткових об'ємів газу. Такий процес різко збільшує концентрацію газів у гірничих виробках. В результаті контакту такої суміші з розігрітою областю, виникає короточасний малий спалах, який веде до займання метаноповітряної суміші, вибуху й інших термічних ефектів, що є результатом іскріння.

Таким чином, однією з причин фрикційного іскріння при розробці вугільних родовищ може бути зернова закрыта пористість, яка представлена чисельним газовими включеннями в кварцових зернах пісковиків. Враховуючи значні об'єми та тиск включень, вони можуть виступати додатковим джерелом термічного ефекту, результатом якого є різні газодинамічні та термічні явища.

Інше питання пов'язане з урахуванням показників зернової закрытої пористості при прогнозуванні викидів порід і газу.

Для карбонових пісковиків Донбасу найбільші показники зернової закрытої пористості характерні для порід прилеглих до вугілля марок Г, Ж, К, ПС. Для зазначених марок встановлені показники в середньому змінюються від 3,5 до 4 %. Пісковики Донецького басейну переважно є олігоміктовими та на 60-70 % складаються з кварцових зерен. Тобто в 1 м^3 пісковика міститься до $0,6-0,7 \text{ м}^3$ уламкового кварцу. Враховуючи показники зернової закрытої пористості встановлено, що в 1 м^3 пісковика прилеглого до вугілля марок Г, Ж, К, ОС в міститься від 0,02 до $0,023 \text{ м}^3$ газу (рис. 5.16 а). Враховуючи, що газові включення знаходяться під великим тиском, об'єми можуть бути значно вищими. До того ж, важливо враховувати додатковий тиск вуглепородного масиву. Газові включення, прагнучі до енергетичної рівноваги, можуть виступати додатковим імпульсом для прояву викидів порід і газу. В роботі [22] зазначено, що кількість газу у виробі після викиду порід значно перевищує розрахункову кількість при прогнозуванні цього явища. Ймовірно певна кількість додаткового газу утворюється за рахунок декрипітації включень в уламкових зернах порід.

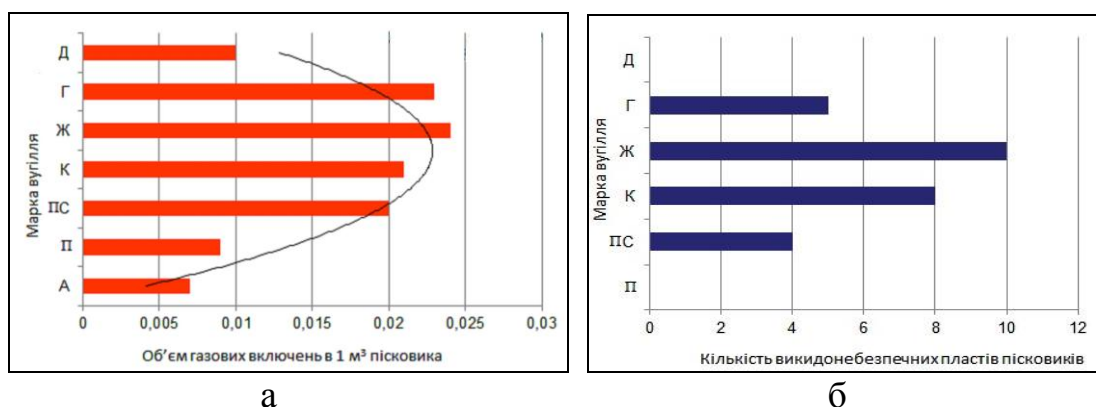


Рис. 5.16 а - об'єм газових включень в 1 м³ пісковика в залежності від марки прилеглого вугілля; б – кількість викидонебезпечних пластів пісковиків в залежності від марки прилеглого вугілля [94].

Найбільша кількість викидонебезпечних пластів пісковиків належить саме до середньої підстадії катагенезу, порід прилеглих до вугілля марок Г, Ж, К, ПС (рис. 5.16 б). Враховуючі встановлені максимальні значення об'ємів газу в уламкових зернах пісковиків саме в цьому інтервалі порід, важливо враховувати їх при прогнозі викидонебезпечності порід і газу.

Висновки до розділу 5. Оптичний метод дослідження флюїдних включень в уламкових зернах пісковиків при збільшенні в 1200 крат з застосуванням імерсійної рідини є ефективним при встановленні закономірностей змін зернової закритої пористості в умовах катагенезу порід. Дослідження шліфів пісковиків з проб, відібраних з зонах поширення вугілля різних марок дало можливість встановити вплив ступеня катагенезу на перетворення флюїдних включень в кварцових зернах порід. Встановлено, що розмір флюїдних включень зменшується при зростанні ступеня катагенезу. Сучасна глибина на розмір флюїдних включень не впливає. Запропонована методика визначення об'єму газових включень в уламкових зернах порід за допомогою оптичного методу проста при користуванні, економічно вигідна. За її допомогою встановлено, що найбільші значення зернової закритої пористості характерні для середньої підстадії катагенезу і сягають 4 %. За допомогою дисперсійного аналізу доведено вплив катагенезу на об'єм флюїдних включень у кварцових зернах пісковиків Донбасу. Онтогенез вторинних флюїдних включень в кварцових зернах пісковиків

Донбасу полягає у зародженні включень на раній підстадії катагенезу, формуванні окремих включень, збільшенні їх кількості, набутті чітких форм на середній підстадії катагенезу та анігіляції на пізній підстадії катагенезу, коли під дією високого тиску включення починають подрібнюватися до найменших розмірів. Показники зернової закритої пористості необхідно враховувати при прогнозуванні термічних та газодинамічних явищ у вугільних шахтах оскільки значні об'єми та тиск флюїдних включень, у сукупності з додатковим тиском вуглепородного масиву, можуть виступати додатковим імпульсом для прояву зазначених явищ.

ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, у якій на основі встановлених закономірностей перетворення закритої пористості порід вирішена актуальна науково-прикладна задача – вдосконалення методів дослідження пористості порід для вирішення питань прогнозу газодинамічних та термічних явищ у вугільних шахтах Донбасу. Проведені дослідження дозволили сформулювати основні висновки, які визначають наукове та практичне значення роботи:

1. Вперше виділено новий підтип закритої пористості – зерновий, який утворюється за рахунок чисельних газових включень в уламкових зернах пісковиків. На підставі цього обґрунтовано доцільність розділення закритої пористості порід на два підтипи – цементний (ізольовані пори, які знаходяться в цементуючій речовині породи) та зерновий (флюїдні включення в породоутворюючих зернах породи).

2. Встановлено, що розмір флюїдних включень в кварцових зернах карбонових пісковиків Донбасу зменшується за лінійною залежністю при зростанні ступеня катагенетичних перетворень;

3. Визначено, що середні показники об'єму зернової закритої пористості в 1,5 – 2 рази перевищують середні показники цементної закритої пористості.

4. Встановлено, що об'єми зернової закритої пористості змінюються за поліноміальною залежністю при зростанні ступеня катагенетичних перетворень. Максимальні показники об'ємів зернової закритої пористості характерні для середньої підстадії катагенезу та складають 3,5-4 %. Ці показники необхідно враховувати як додаткові при дослідженні пористості порід.

5. Визначено, що сучасна глибина залягання порід не впливає на перетворення об'ємів флюїдних включень в кварцових зернах пісковиків Донбасу. Між зазначеними показниками встановлено низький кореляційний зв'язок ($r = - 0,24$).

6. Встановлено онтогенез вторинних флюїдних включень в кварцових зернах пісковиків Донбасу в залежності від підстадії катагенезу, суть якого полягає у зародженні флюїдних включень на ранній підстадій катагенезу, коли в кварцових зернах починають з'являтися мікротріщини, які поступово заліковуються флюїдним розчином, формуванні окремих мікрровключень, збільшенні їх кількості та перетворенні на середній підстадії катагенезу та анігіляції на пізній підстадії катагенезу, коли під дією високого тиску включення починають подрібнюватися до найменших розмірів.

7. Обґрунтовано необхідність брати до уваги показники зернової закритої пористості при прогнозуванні ГДЯ у вугільних шахта, враховуючи, що максимальні показники зернової закритої пористості встановлені для пісковиків середньої підстадії катагенезу та те, що саме для цього інтервалу порід характерна найбільша кількість газодинамічних явищ.

8. Розроблено методику визначення об'єму флюїдних включень в уламкових зернах порід за допомогою оптичного мікроскопа. На дану розробку отримано патент України № 132277.

Достовірність отриманих результатів дисертаційної роботи ґрунтується на достатньому обсязі експериментальних досліджень і фактичних даних, на науковому аналізі отриманих і відомих з літератури фактів та на застосуванні надійних методів обробки цієї інформації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Газообильность каменноугольных шахт СССР. Комплексное освоение газоносных угольных месторождений / [А. Т. Айруни, Р. А. Галазов, И. В. Сергеев та ін.]. – Москва: Наука, 1990. – 216 с.
2. Жикаляк М. В. Метан вугільних родовищ у локальній енергетиці Донбасу / М. В. Жикаляк. // Геотехническая механика. – 2002. – №32. – С. 74–76.
3. Реддер Э. Флюидные включения в минералах / Э. Реддер. – Москва: Мир, 1987. – 560 с.
4. Полянина Г.Д. Физическая модель внезапного выброса соляных пород по экспериментальным данным // Тезисы докладов VII Всесоюзной научной школы «Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках». – Симферополь. – 1990. – С. 156-157.
5. Наумов Г. Б. Включения в минералах как источник информации в изучении геологических процессов / Г. Б. Наумов, В. Б. Наумов. // Методы и аппаратура для исследования включений минералообразующих сред. – 1980. – С. 178–195.
6. Баранов В. А. Микронарушенность кварца песчаников Донбасса в связи с их выбросоопасностью: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. геол.-мін. наук : спец. 04.00.16 "Геологія твердих горючих копалин" / Баранов В. А. – Дніпропетровськ, 1989. – 17 с.
7. Курило М. В. Некоторые результаты термобарогеохимического изучения аутигенных минералов из угленосных отложений Донбасса / М. В. Курило, Ю. А. Галабурда, Л. А. Добрянський. // Литология и полезные ископаемые. – 1986. – №2. – С. 68–74.
8. Наумко І.М. Леткі компоненти флюїдних включень у мінералах порід середнього карбону Донецько-Макіївського та Красноармійського

- вуглепромислових районів Донбасу / І.М. Наумко, І.М. Зінчук, А.Ф. Булат та ін. // Геологія і геохімія горючих копалин. – 1986. – № 2. – С. 93-104.
9. Baranov V.A. The results of the research of sandstones closed porosity / V.A. Baranov, Y.V. Antipovich // Journal of geology, geografia, and geocology. – 2018. – Vol. 27 (3), p. 414-421.
10. Ферсман А. Е. Происхождение и образование минералов / А. Е. Ферсман. – Москва: Избранные труды, 1952.
11. Справочник по литологии / [под ред. Н.Б. Вассоевича, В.Л. Либровича, Н.В. Логвиненко, В.И. Марченко] – М.: Недра, 1983. – 509 с.
12. Рухин Л.Б. О некоторых закономерностях эпигенеза / Л.Б. Рухин // Вопросы минералогии осадочных образований. – 1956. – Том 3, С. 425-451.
13. Пустовалов Л.Б. Вторичные изменения осадочных горных пород / Л.Б. Пустовалов // О вторичных изменениях осадочных пород: труды ГИН АН СССР. – М.:Изд-во АН СССР, 1956. – Вып. 5. – С. 3-52.
14. Бучинська І.В. Катагенетичні перетворення пісковиків різних генетичних типів кам'яновугільних відкладів Донецького та Львівсько-Волинського басейнів: автореф. дис...на здобуття наук. ступеня канд. геол. наук: спец. 04.00.16 «Геологія твердих горючих копалин» / І.В. Бучинська. – Львів, 2002. – 20 с.
15. Карпова Г.В. Постдиагенетические изменения каменноугольных отложений Большого Донбасса / Г.В. Карпова, Н.В. Логвиненко, Л.В. Орлова та ін. // Литология и полезные ископаемые. – 1981. – № 6. – С. 70–81.
16. Логвиненко Н.В. Постдиагенетические изменения осадочных пород / Н. В. Логвиненко. – М.: Наука, 1968. – 91 с.
17. Прошляков Б.К. Литология / Б.К. Прошляков, В.Г. Кузнецов. – М.: Недра, 1991. – 444 с.
18. Аммосов И.И. Рассеянные угольные включения нефтегазоносных отложений Западно-Сибирской низменности / И.И. Аммосов, В.И. Горшков // Материалы к IX совещ. работников лабор. геол. орг.: Углехим. секция.- Л., 1985.-Вып.8.-С.149-153.

19. Аммосов И.И., Тан Сюи. Стадии изменения углей и парагенетические отложения горючих ископаемых / И.И. Аммосов, С. Тан. – М.: Изд-во АН СССР, 1981. – 161 с.
20. Малинин С.И. Вторичные изменения пород, вмещающих ископаемые угли / С.И. Малинин. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 130 с.
21. Копелиович А.В. Особенности эпигенеза песчаников могилевской свиты юго-запада Русской платформы и некоторые вопросы с ним связанные / А.В. Копелиович // Изв. АН СССР. Сер. геол. – 1958. – №11. – С. 117-123.
22. Забигайло В.Е. Выбросоопасность горных пород Донбасса / В.Е. Забигайло, В.В. Лукинов, А.З. Широков. – К.: Наукова думка, 1983. – 285 с.
23. Забигайло В.Е. Влияние катагенеза горных пород и метаморфизма углей на их выбросоопасность / В.Е.Забигайло, В.И. Николин. – К.: Наукова думка, 1990. – 168 с.
24. Николин В. И. Разработка способов прогноза и борьбы с выбросами породы и газа : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук / Николин В. И. – Донецьк, 1971. – 50 с.
25. Ржевский В.В. Основы физики горных пород / В.В. Ржевский, Г.Я. Новик. – М.: Наука, 1964. – 208 с.
26. Турчанинов И.А. Современные методы комплексного определения физических свойств горных пород / И.А. Турчанинов, Р.В. Медведев, В.И. Панин. – М.: Недра, 1967. – 197 с.
27. Феофилова А.П. К вопросу о причинах изменения пористости угленосных пород среднего карбона Донецкого бассейна / А.П. Феофилова // Памяти акад. П.И. Степанова. – М.: Изд-во АН СССР, 1952. – С.249-263.
28. Моссур Е. А. Вещественный состав и постдиагенетические изменения осадочных пород угленосной толщи Донбасса в связи с прогнозом их выбросоопасности : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. геол.-мін. наук : спец. 04.00.16 "Геологія твердих горючих копалин" / Моссур Е. А. – Дніпропетровськ, 1973. – 18 с.

29. Забигайло В.Е. Минералогический состав, структура и текстура выбросоопасных песчаников Донбасса / В.Е. Забигайло, Е.А. Моссур // Вопросы теории выбросов угля, породы и газа. – К.: Наукова думка, 1973. – С. 348-358.
30. Забигайло В.Е. О соотношении степени метаморфизма углей и стадий катагенеза пород Донбасса / В.Е. Забигайло, В.В. Лукинов // Геология и геохимия горючих ископаемых. – 1989. – № 73. – С.1-7.
31. Лукинов В.В. Тектоника метанугольных месторождений Донбасса / В.В. Лукинов, Л.И. Пимоненко. – К.: Наукова думка, 2008. – 352 с.
32. Вергельська Н. В. Структурно-тектонічні особливості формування покладів газу у вуглепородних масивах Донбасу / Н.В. Вергельська // Нафтогазова галузь України. – 2015. – № 2. – С. 22-24.
33. Лукинов В.В. Влияние тектонических условий на формирование физических свойств пород / В.В. Лукинов, Л.Л. Шкуро, К.А. Безручко // Уголь Украины. – 1995. – №11. – С. 33-35.
34. Страхов Н.М. Общие проблемы геологии, литологии и геохимии / Н.М. Страхов. – М.: Наука, 1983. – 640 с.
35. Прошляков Б.К. Вторичные изменения терригенных пород-коллекторов нефти и газа / Б.К. Прошляков. – М.: Недра, 1974. – 225 с.
36. Чепиков К.Р. К вопросу об изменении пористости песчаных пород с глубиной / К.Р. Чепиков, Е.П. Ермолова, Н.А. Орлова // Доклады АН СССР. – 1962. – С. 435–437.
37. Забігайло В.Ю. Закономірності зміни пористості пісковиків світи C_2^6 середнього карбону південно-західної частини Донбасу / В.Ю. Забігайло, В.М. Фалькович // Вісник АН УРСР. – 1971. – №7. – С. 94-99.
38. Исследовать закономерности изменения вещественного состава, структуры, свойств и газоносности горных пород и углей в зависимости от глубины залегания, усовершенствовать и внедрить методы прогноза выбросоопасности пород и угольных пластов при геологоразведочных работах: отчет о НИР (годовой) / Институт геотехнической механики АН

- УССР; науч. рук. В.Е. Забигайло; отв. исполн. В.В. Лукинов. – Днепропетровск, 1984. – 137 с. - № ГР 81057296 – Инв. № 3522.
39. Забигайло В.Е. Проблемы геологии газов угольных месторождений / В.Е. Забигайло, А.З. Широков. – К.: Наукова думка, 1972. – 172 с.
40. Жикаляк М.В. Геологічні чинники формування колекторських властивостей пісковиків південно-західної частини Донбасу: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. геол. наук: спец. 04.00.16 "Геологія твердих горючих копалин" / Жикаляк М.В. – Дніпропетровськ, 2005. – 20 с.
41. Маметова Л.Ф. Структурно-мінералогічні перетворення газоносних пісковиків Донбасу: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. геол. наук: спец. 04.00.16 "Геологія твердих горючих копалин" / Маметова Л.Ф. – Дніпропетровськ, 2011. – 20 с.
42. Данилова Т.Е. Процессы уплотнения, окварцевания и выщелачивания в терригенных коллекторах и их роль в формировании пустотного пространства на примере нефтяных месторождений Татарской АССР / Т.Е. Данилова // Литология и полезные ископаемые. – 1984. – № 1. – С.39-48.
43. Черников О.А. Преобразование песчано-алевритовых пород и их пористость / О.А. Черников. – М.: Наука, 1969. – 138 с.
44. Копорулин В.И. Сравнительная характеристика постседиментационных преобразований терригенных пород Иркутского бассейна / В.И. Копорулин // Литология и полезные ископаемые. – 1967. – № 6. – С.3-14.
45. Забигайло В.Е. Геологические условия выбросов пород и газа на шахтах Донбасса и метод регионального прогноза выбросоопасности пород по геологоразведочным данным: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора геол.-мін. наук: спец. 04.00.16 "Геологія твердих горючих копалин" / Забигайло В.Е. – Ленинград, 1975. – 45 с.
46. Sorby H.C. On the microscopic structure of crystals, indicating the origin of minerals and rocks / H.C. Sorby // Geol. Soc. London Quart. Journ. – 1858. Vol. 14. – P. 453–500.

47. Леммлейн Г.Г. Исследование образования жидких включений в кристаллах / Г.Г. Леммлейн // Вопросы геохимии и минералогии. М., 1956. – С. 139–141.
48. Леммлейн Г. Г. Классификация жидких включений в минералах / Г. Г. Леммлейн. // Зап. Всесоюз. минерал. об-ва.. – 1959. – №2. – С. 137–143.
49. Ермаков Н.П. Геохимические системы включений в минералах / Н.П. Ермаков. – М.: Недра, 1972. – 376 с.
50. Ермаков Н.П. Исследование минералообразующих растворов / Н.П. Ермаков. – Харьков: Изд-во Харьковского университета, 1950 – 460 с.
51. Ермаков Н.П. Термобарогеохимия / Н.П. Ермаков, Ю.А. Долгов. - М.: Недра, 1979. – 271 с.
52. Калюжный В.А. Методи вивчення багатofазових включень в мінералах / В.А. Калюжный. – К.: Вид-во АН УРСР, 1960. – 168 с.
53. Калюжный В.А. Основы учения о минералообразующих флюидах / В.А. Калюжный. – К.: Наук. думка, 1982. – 240 с.
54. Калюжный В.А. Перспективи прогнозування корисних копалин за типоморфними ознаками флюїдних включень вуглеводнів та вуглець-діоксиду (Закарпатський прогин, Складчасті Карпати. Україна) / В.А. Калюжный, Б.Е. Сахно // Геологія і геохімія горючих копалин. – 1998. – № 3. – С. 133–147.
55. Наумко І. Учення про мінералотворні флюїди: пріоритетні завдання розвитку на сучасному етапі / І. Наумко, В. Калюжный, В. Братусь та ін. // Мінералогічний збірник. – 2000. – № 50. – Вип. 2. – С. 22–30.
56. Наумко І.М. Мінералого-генетичні особливості золотоносних парагенезів Капустянського кварцово-жильного рудопрояву (південно-західна частина Українського щита) / І.М. Наумко, Н.Г. Сава, Б.Е. Сахно та ін. // Мінералогічний журнал. – 2011. – № 33 – Вип. 2. – С. 3-14.
57. Зінчук І.М. Геохімія мінералоутворюючих розчинів золото-поліметалевих рудопроявів Центрального Донбасу (за включеннями у мінералах): автореф.

дис. на здобуття наук. ступеня канд. геол. наук: спец. 04.00.02 "Геохімія" / Зінчук І.М. – Львів, 2003. – 21 с.

58. Кульчицкая А.А. Включения магматических расплавов в минералах Азовского редкометального месторождения (Украинский щит) / А.А. Кульчицкая, В.С. Мельников // Тр. XI Междунар. конф. по термобарогеохимии. Александров - 2003. С. 48–51.

59. Наумко І.М. Флюїдний режим мінералогенезу породно-рудних комплексів України (за включеннями у мінералах типових парагенезисів): автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. геол. наук: спец. 04.00.02 "Геохімія" / Наумко І.М. – Львів, 2006. – 52 с.

60. Кульчицька Г. Включення в мінералах як об'єкти кристалографії / Г. Кульчицька, Д. Возняк, Д. Черниш // Мінералогічний збірник. – 2007. – № 57 - Вип. 1. – С. 17–25.

61. Шехунова С.Б. Особливості літогенезу соленосних формацій та проблеми їх використання: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. геол. наук: спец. 04.00.21 "літологія" / Шехунова С.Б. – Київ, 2011. – 44 с.

62. Наумко И.М. Природа вторичных газов в низкопористых коллекторах Кросненской зоны Украинских Карпат / И.М. Наумко, Б.И. Писоцкий, Г.О Занкович и др. // Геология нефти и газа. – 2014. – № 6 – С. 68—74.

63. Занкович Г.О. Геохімія флюїдів прожилково-вкрапленої мінералізації перспективно нафтогазоносних комплексів північно-західної частини Кросненської зони Українських Карпат: Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. геол. наук: спец. 04.00.02 "Геохімія" / Занкович Г.О. – Львів, 2016. – 25 с.

64. Возняк Д.К. Мікровключення та реконструкція умов ендегенного мінералоутворення / Д.К. Возняк. – Київ: Наук. думка, 2007. – 280 с.

65. Наумко І.М. Про генезис високометаморфізованих вуглистих утворень північно-західної частини Мармароського масиву (за даними вивчення флюїдних включень у мінералах) / І.М. Наумко, Р.А. Бондар, Б.Е. Сахно // Доповіді Національної академії наук України. – 2011. – № 1. – С. 113-117.

66. Kesler S.E. Application of fluid inclusion and rock-gas analysis in mineral exploration / S.E. Kesler, P.S. Haynes, M.Z. Creech // *Journal of Geochemical Exploration*. – 1986. – м25. – PP. 201-215.
67. Deryppe J. Characterization of the composition of fluid inclusions in minerals by H NMR / J. Deryppe, J. Pironon, C. Moreaux // *American Mineralogist*. – 1994. – №. 79. – PP. 712-718.
68. Elinson M.M. Gas composition of inclusions in minerals and physicochemical conditions of mineral formation in Chorukh-Dayron ore field / M.M. Elinson, B.A. Alidodov // *International geology review*. – 1974. – № 16 (5). – PP. 557-564.
69. Anovitz L.M. Characterization and analysis of porosity and pore structures / L.M. Anovitz, D.R. Cole // *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*. – 2015. – № 80 (1). – PP. 151-164.
70. Putnis A. Transient Porosity Resulting from Fluid–Mineral Interaction and its Consequences / A. Putnis // *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*. – 2015. – № 80. – PP. 1–23.
71. Sammartinoa S. Spatial distribution of porosity and minerals in clay rocks from the Callovo-Oxfordian formation (Meuse/Haute-Marne, Eastern France) – implications on ionic species diffusion and rock sorption capability / S. Sammartinoa, A. Bouchet, D. Pret, et al. // *Applied Clay Science*. – 2003. – № 23. – PP. 157–166.
72. Rahmouni A. Permeability and porosity of rocks and their relationship based on laboratory measurements / A. Rahmouni, M. Boukalouch, A. Boulanouar et al. // *Civil and Environmental Research*. – 2013. – № 5. – PP. 51-55.
73. Bahadur J. Determination of closed porosity in rocks by small-angle neutron scattering / J. Bahadur, C. Medina, L. He et al. // *Journal of Applied Crystallography*. – 2016. – № 49 (6). – PP. 2021-2030.
74. Blamey Nigel J.F. Composition and evolution of crustal, geothermal and hydrothermal fluids interpreted using quantitative fluid inclusion gas analysis / J.F.

- Blamey Nigel // Journal of Geochemical Exploration. – 2012. – № 116. – PP. 17-27.
75. Takenouchi S. Gas chromatographic analysis of fluid inclusions / S. Takenouchi // Mining geology. – 1992. – № 42 (5). – PP. 289-299.
76. Azmy K. Source of diagenetic fluids from fluid-inclusion gas ratios / K. Azmy, J.F. Blamey Nigel // Chemical Geology. – 2013. – № 347. – PP. 246-254.
77. Teixeira C.A.S. Fluid inclusions in calcite filled opening fractures of the Serra Alta Formation reveal paleotemperatures and composition of diagenetic fluids percolating Permian shales of the Paraná Basin / C.A.S. Teixeira, A.O. Sawakuchi, R.M.S. Bello et al. // Journal of South American Earth Sciences. – 2018. – № 84. – PP. 242-254.
78. Bourdet J. Chemical changes of fluid inclusion oil trapped during the evolution of an oil reservoir: Jabiru-1A case study (Timor Sea, Australia) / J. Bourdet, P.J. Eadington, H. Volk et al. // Marine and Petroleum Geology. – 2012. – № 36(1). – PP. 118–139.
79. George S.C. Assessing the maturity of oil trapped in fluid inclusions using molecular geochemistry data and visually-determined fluorescence colours / S.C. George, T.E. Ruble, A. Dutkiewicz et al. // Applied Geochemistry. – 2001. – № 16 – PP. 451–473.
80. Goldstein R. Petrographic analysis of fluid inclusions / I. Samson, A. Anderson and D. Marshall // Mineralogical Association of Canada. – 2003. – № 32 – PP. 9–53.
81. Кульчицька Г.О. Газохроматографічний метод визначення хімічно зв'язаних метильних груп в капсульованого метану в гірських породах / Г.О. Кульчицька, Д.К. Возняк // Геотехническая механика. – 2002. – № 32. – С. 91-95.
82. Баранов В.А. Структурні перетворення пісковиків Донбасу і прогноз їх викиднебезпечності: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. геол. наук: спец. 04:00:16 «Геологія твердих горючих копалин» / Баранов В.А. – Дніпропетровськ, 2000. – 36 с.

83. Böhm August. Tschennaks mineralogische und petrographische Mitteilungen / A. Böhm // Wien. – 1883. – V. 5, 204. – S. 127-214.
84. Carter N. L. Experimental deformation and recrystallization of quartz / N.L. Carter, I. M. Christie, D. T. Griggs // J. Geol. – 1964. – № 7. – PP. 687-733.
85. Маметова Л.Ф. Структурно-мінералогічні перетворення газоносних пісковиків Донбасу: Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. геол. наук: спец. 04.00.16 «Геологія твердих горючих копалин» / Маметова Л.Ф. – Дніпропетровськ, 2011. – 20 с.
86. Баранов В.А. Включения в кварце песчаников Донбасса, связанные со структурными микродеформациями / В.А. Баранов // Минералогический журнал. – 1993. – № 6. – С. 80-83
87. Леммлейн Г.Г. Морфология и генезис кристаллов / Г.Г. Леммлейн. – М.: Наука, 1973. – 328 с.
88. Гегузин Я.Е. Диффузионная зона / Я.Е. Гегузин. – М.: Наука, 1979. – 343 с.
89. Копелиович А.В. Эпигенез древних толщ Юго-Запада Русской платформы / А.В. Копелиович // Тр. ГИН. – М.: Наука, 1965. – Вып. 121. – 312 с.
90. Бакиров А.А. Теоретические основы и методы поисков и разведки скоплений нефти и газа / А.А. Бакиров, Э.А. Бакиров, В.С. Мелик-Пашаев и др. – М.: Высш. шк., 1987. – 384 с.
91. Спутник нефтегазопромыслового геолога: [гл. ред. И.П. Чоловский]. – М.:Недра, 1989. – 376 с.
92. ГОСТ 26450.1-85. Порода горные. Метод определения коэффициента открытой пористости жидконасыщением. – Введ. 01.07.86. – М.: Изд-во стандартов, 1985.-8 с.
93. Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР. Т. 1 / [гл. ред. С.А. Скробов]. – М.: Госгеолтехиздат, 1963. – 1210 с.
94. Комплект карт метаморфизма углей Донецкого бассейна (поверхности палеозоя, срезов: -400 м, -1000 м, -1600 м и структурних планов угольних

- пластов C_6^1 и K_5) / Левенштейн М.Л., Спирина О.И. и др. – Киев, 1991. – 104 с.
95. Педанюк Г.І. Комплект карт «Геологія і корисні копалини України» / Г.І. Педанюк, В.А. Колосовська, Л.О. Демехін та ін. – Киев, 2007.
96. Стратиграфія верхнього протерозою та фанерозою України: Т.1. Стратиграфія верхнього протерозою, палеозою та мезозою України / Науковий редактор П.Ф. Гожик. К.: Логос, 2014, 634 с.
97. Палеонтология и стратиграфия карбона Донецкого бассейна. URL: <https://donpaleo.ru/C/strat/index.htm#1> (дата обращения 20.04.2019).
98. Газоносность и ресурсы метана угольных бассейнов Украины / [Анциферов А.В., Голубев А.А., Канин В.А. и др.] – Донецк: «Вебер», 2010. – 475 с.
99. Результати геофізичних робіт по підготовці геофізичної основи під ГДП-200 території аркуша М-37-XXXI (Тернівка) (2009-2017) / Звіт про геофізичне вивчення надр, 2017. – 274 с.
100. Ivanova A.V. Geotectonic regime of formation of the coal-bearing deposits in the Western Donets Basin (Ukraine) / A.V. Ivanova, L.B. Zaitseva, O.I. Spirina // Геологічний журнал. – 2018. - №1. С.66-79.
101. Геология угольных месторождений СССР / под ред. А.К. Матвеева. – М.: МГУ, 1990. – 352 с.
102. Айруни А.Т. Прогнозирование и предотвращение газодинамических явлений в угольных шахтах / А.Т. Айруни. – М.: Наука, 1987. – 310 с.
103. Ханин А.А. Порода-коллекторы нефти и газа нефтегазоносных провинций СССР / А.А. Ханин. – М.: Недра, 1973. – 304 с.
104. Прошляков Б.К. Коллекторские свойства осадочных пород на больших глубинах / Б.К. Прошляков, Т.И. Гальянова, Ю.Г. Пименов. – М.: Недра, 1987. – 200 с.
105. Антіпович Я.В. Методика визначення закритої пористості в уламкових зернах порід / Я.В. Антіпович // Геотехническая механика. – 2018. – Вып. 142, с. 67-72.

106. Патент 132277, Україна, МПК G01V9/00(2018) Спосіб визначення об'єму газових включень в уламкових зернах порід / Баранов В.А., Антипович Я.В.; власник Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України. - № u 2018 07537; заявл. 05.07.2018; опубл. 25.02.2019, Бюл. № 4.
107. Антипович Я.В. Закономерности изменений абсолютной пористости угля и песчаников Донбасса / Я.В. Антипович // Геотехническая механика. – 2017. – Вып. 136, с. 95-100.
108. Антипович Я.В. Особенности изменения пористости в углях и песчаниках Донбасса / Я.В. Антипович // Матеріали IV всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених: «Наукова весна 2013» 29 березня 2013 р., м. Дніпропетровськ. Дніпропетровськ: НГУ, 2013. – с. 215-216.
109. Пористость и надмолекулярное пространство углей Донбасса и их изменение в связи с проблемами классификации углей и прогноза метаноносности / В.В. Кирюков, Н.В. Жикаляк, О.А. Куш и др. // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2010. - № 87. – С. 230-235.
110. Rodrigues C.F. The measurement of coal porosity with different gases / C.F. Rodrigues, M.J. Lemos de Sousa // International Journal of Coal Geology. – 2002. – V. 48. – P. 245–251.
111. Лукинов, В.В. Тектоника метанноугольных месторождений Донбасса / В.В. Лукинов, Л.И. Пимоненко. – Киев: Наук. думка, 2008. – 352 с.
112. Antipovich Y. Influence of catagenesis on the transformation of sandstone porosity of the Donetsk Basin / Y. Antipovich // Modern Science. – 2018. – Vol. 5, p.112-117.
113. Баранов В.А. Геологические процессы в осадочных породах / В.А. Баранов, В.А. Кириченко, Я.В. Антипович // Геотехническая механика. – 2018. – Вып. 139, с. 179-194.

114. ГОСТ 26450.0-85- ГОСТ 26450.2-85 Породы горные. Методы определения коллекторских свойств. – Москва.: Изд-во Стандартов, 1985. – 16 с.
115. Antipovich Y.V. The transformation of carbonic sandstone porosity of the Donbass / Y.V. Antipovich // Збірник наукових праць Інституту геологічних наук. – 2014. – Том 7, с. 48-51.
116. Антипович Я.В. Установление объемов газовых включений в кварце песчаников Донбасса / Я.В. Антипович // Геотехническая механика. – 2016. – Вып. 130, с. 72-77.
117. Антипович Я.В. Влияние палеоглубины на преобразование газовых включений в кварце карбоновых песчаников Донбасса / Я.В. Антипович // Геотехническая механика. – 2015. – Вып. 123, с. 238-243.
118. Патент 125699, Україна, МПК E21F 17/00 (2017) Спосіб застосування бокового освітлення в петрографії / Баранов В.А.; власник Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України. - № u 2017 12569; Бюл.№10.
119. Пимоненко Н.А. Разработка способов оценки микронарушенности углей для прогноза их выбросоопасности: автореф. дис. на соиск.ученой степени канд. техн. наук: спец. 05.15.11 «Физические процессы горного производства», 04.00.16 «Геология, поиски и разведка месторождений твердых горючих ископаемых» / Пимоненко Н.А. – Днепропетровск, 1988. – 18 с.
120. Baranov V.A., Influence of the gas inclusions in quartz grains of sandstones on outburst of rocks / V.A. Baranov, Y.V. Antipovich // Traditions and innovations of resource-saving technologies in mineral mining and processing. Multi-authored monograph. – Petroani, Romania: UNIVERSITAS Publishing, 2019. – p. 403-415.
121. Баранов В.А. Метастабільність включень у пісковиках Донбасу / В.А. Баранов, Я.В. Антіпович // Тези наукової конференції, присвяченої 50-річчю Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка: «Здобутки і перспективи розвитку геологічної науки в Україні» 14-16 травня

2019 р., м. Київ. Київ: Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка, 2019. – Т.1, с. 128-129.

122. Антипович Я.В. Трансформация включений в кварцевых зернах песчаников / Я.В. Антипович // Материалы минералогического семинара: «Современные проблемы теоретической, экспериментальной и прикладной минералогии (Юшкинские чтения – 2018)» 22-24 мая 2018 г., г. Сыктывкар. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2018. – с. 176-177.

123. Антипович Я.В. Возможности усовершенствования определения пористости пород / Я.В. Антипович // Матеріали наукової конференції: «Сучасні проблеми літології осадових басейнів України та суміжних територій» 24-26 вересня 2018 р., м. Київ. Київ: Інститут геологічних наук НАН України, 2018. – с. 13.

124. Салтыков С.А. Стереометрическая металлография / С.А. Салтыков. – М.:Металлургия, 1970. – 376 с.

125. Антипович Я.В. Особенности преобразования коллекторских свойств песчаников в условиях раннего катагенеза / Я.В. Антипович // Матеріали міжнародної конференції: «Форум гірників – 2013» 2-5 жовтня 2013 р., м. Дніпропетровськ. Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2013. – с. 69-71.

126. Антипович Я.В. Трансформация коллекторских свойств песчаников Донбасса / Я.В. Антипович // Матеріали міжнародної наукової конференції: «Сучасні проблеми літології осадових басейнів України та суміжних територій» 6-11 жовтня 2014 р., м. Київ. Київ: Інститут геологічних наук НАН України, 2014. – с. 19.

127. Antipovich Y. The perspectives of coalbed methane extraction in the Donets basin / Y. Antipovich // Теди доповідей 10-го міжнародного форуму студентів і молодих вчених: «Розширюючи обрії» 23-24 квітня 2015 р., м. Дніпропетровськ. Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2015. – с. 9.

128. Антипович Я.В. Исследование газовых включений в породообразующих зернах карбоновых песчаников Донбасса / Я.В. Антипович // Тези доповідей III Міжнародного форуму студентів, аспірантів і молодих вчених, 23-24 квітня 2015 р., м. Дніпропетровськ. Дніпропетровськ: Дніпропетровський національний університет, 2015. – с. 325-327.
129. Геологический словарь / Под. ред. К.Н. Паффенгольца. - М.: Недра, 1978. Т. 2. – 486 с.
130. Матковський О. Професор Д.П. Григор'єв – основоположник деяких нових напрямів у сучасній мінералогії та їхній розвиток в Україні (до 100-річчя від дня народження) / О. Матковський // Мінералогічний збірник. – 2009. – Вип. 2 (59), с. 177-185
131. Мінералогічний словник / під. ред. Е.К. Лазаренко, О.К. Винара. – К. Наукова думка, 1975. – 773 с.
132. Ферсман О.Є. Избранные труды. Том 1. – М.: АН СССР. – 1952. – 782 с.
133. Долгов Ю.А. Особенности генезиса высокотемпературных кварцов / Ю.А. Долгов // Минералогический сборник. – 1955. – Вып. 9.
134. Рухин Л.Б. Основы литологии / Л.Б. Рухин. – Л.: Недра, 1969. – 704 с.
135. Симанович И.М. Кварц песчаных пород / И.М. Симанович. – М.: Наука, 1978. – 154 с.
136. Любов Б.Я. Диффузионные процессы в неоднородных твердых средах / Б.Я. Любов. – М.: Наука, 1981. – 295 с.
137. Шевцов Н. Р. Взрывозащита горных выработок / Н. Р. Шевцов. – Донецк: ДонНТУ, 2002. – 280 с.
138. Голинько В. И. Влияние параметров разрушения газонасыщенного массива на его теплообмен с окружающей метановоздушной средой / В. И. Голинько, А. В. Яворский, Я. Я. Лебедев, Е. А. Яворская // Геотехнічна механіка. – 2014. – Вип. 117. – С. 161 – 175.

139. Газоносность угольных месторождений Донбасса / [А. В. Анциферов, М. Г. Тиркель, М. Т. Хохлов та ін.]. – Киев: Наукова думка, 2004. – 232 с.
140. Цокельверг Н.Г. Результаты опытных исследований за границей в области изучения воспламенения гремучего газа от трения / Н.Г. Цокельверг // Уголь. – 1931. - №71-72.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ВІДОМОСТІ ПРО
АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ*Статті у фахових наукових виданнях України*

1. Antipovich Y.V. The transformation of carbonic sandstone porosity of the Donbass / Y.V. Antipovich // Збірник наукових праць Інституту геологічних наук. – 2014. – Том 7, с. 48-51.
2. Антипович Я.В. Влияние палеоглубины на преобразование газовых включений в кварце карбоновых песчаников Донбасса / Я.В. Антипович // Геотехническая механика. – 2015. – Вып. 123, с. 238-243.
3. Антипович Я.В. Установление объемов газовых включений в кварце песчаников Донбасса / Я.В. Антипович // Геотехническая механика. – 2016. – Вып. 130, с. 72-77.
4. Антипович Я.В. Закономерности изменений абсолютной пористости угля и песчаников Донбасса / Я.В. Антипович // Геотехническая механика. – 2017. – Вып. 136, с. 95-100.
5. Баранов В.А. Геологические процессы в осадочных породах / В.А. Баранов, В.А. Кириченко, **Я.В. Антипович** // Геотехническая механика. – 2018. – Вып. 139, с. 179-194. *(особистий внесок – збір та аналітичний огляд інформації щодо основних геологічних процесів які відбуваються в осадочних породах)*.
6. Антіпович Я.В. Методика визначення закритої пористості в уламкових зернах порід / Я.В. Антіпович // Геотехническая механика. – 2018. – Вып. 142, с. 67-72.

*Статті у фахових наукових виданнях України,
що входять до міжнародних наукометричних баз*

7. Baranov V.A. The results of the research of sandstones closed porosity / V.A. Baranov, **Y.V. Antipovich** // Journal of geology, geograpy, and geoecology. – 2018. – Vol. 27 (3), p. 414-421. *(особистий внесок – розробка методики визначення об'єму газових включень в кварцових зернах пісковиків Донбасу)*.

Статті в закордонній монографії

8. Baranov V.A. Influence of the gas inclusions in quartz grains of sandstones on outburst of rocks / V.A. Baranov, **Y.V. Antipovich** // Traditions and innovations of resource-saving technologies in mineral mining and processing. Multi-authored monograph. – Petroani, Romania: UNIVERSITAS Publishing, 2019. – p.403-415. (*особистий внесок – опис методики дослідження закритої пористості порід та отриманих результатів*).

Статті які додатково відображують зміст дисертації

9. Antipovich Y. Influence of catagenesis on the transformation of sandstone porosity of the Donetsk Basin / Y. Antipovich // Modern Science. – 2018. – Vol. 5, p. 112-117.

Авторські свідоцтва і патенти

10. Патент 132277, Україна, МПК G01V9/00(2018) Спосіб визначення об'єму газових включень в уламкових зернах порід / Баранов В.А., Антипович Я.В.; власник Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України. - № 132277; заявл. 05.07.2018; опубл. 25.02.2019, Бюл. № 4.

Тези доповідей та матеріали конференцій на яких були апробовані результати дисертації

11. Антипович Я.В. Особенности изменения пористости в углях и песчаниках Донбасса / Я.В. Антипович // Матеріали IV всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених: «Наукова весна 2013» 29 березня 2013 р., м. Дніпропетровськ. Дніпропетровськ: НГУ, 2013. – с. 215-216.

12. Антипович Я.В. Особенности преобразования коллекторских свойств песчаников в условиях раннего катагенеза / Я.В. Антипович // Матеріали міжнародної конференції: «Форум гірників – 2013» 2-5 жовтня 2013 р., м. Дніпропетровськ. Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2013. – с. 69-71.

13. Антипович Я.В. Трансформация коллекторских свойств песчаников Донбасса / Я.В. Антипович // Матеріали міжнародної наукової конференції: «Сучасні проблеми літології осадових басейнів України та суміжних

територій» 6-11 жовтня 2014 р., м. Київ. Київ: Інститут геологічних наук НАН України, 2014. – с. 19.

14. Антипович Я.В. Исследование газовых включений в породообразующих зернах карбоновых песчаников Донбасса / Я.В. Антипович // Тези доповідей III Міжнародного форуму студентів, аспірантів і молодих вчених, 23-24 квітня 2015 р., м. Дніпропетровськ. Дніпропетровськ: Дніпропетровський національний університет, 2015. – с. 325-327.

15. Antipovich Y. The perspectives of coalbed methane extraction in the Donets basin / Y. Antipovich // Тези доповідей 10-го міжнародного форуму студентів і молодих вчених: «Розширюючи обрії» 23-24 квітня 2015 р., м. Дніпропетровськ. Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2015. – с. 9.

16. Антипович Я.В. Трансформация включений в кварцевых зернах песчаников / Я.В. Антипович // Материалы минералогического семинара: «Современные проблемы теоретической, экспериментальной и прикладной минералогии (Юшкинские чтения – 2018)» 22-24 мая 2018 г., г. Сыктывкар. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2018. – с. 176-177.

17. Антипович Я.В. Возможности усовершенствования определения пористости пород / Я.В. Антипович // Матеріали наукової конференції: «Сучасні проблеми літології осадових басейнів України та суміжних територій» 24-26 вересня 2018 р., м. Київ. Київ: Інститут геологічних наук НАН України, 2018. – с. 13.

18. Баранов В.А. Метастабільність включень у пісковиках Донбасу / В.А. Баранов, **Я.В. Антіпович** // Тези наукової конференції, присвяченої 50-річчю Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка: «Здобутки і перспективи розвитку геологічної науки в Україні» 14-16 травня 2019 р., м. Київ. Київ: Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка, 2019. – Т.1, с. 128-129.

ДОДАТОК Б
ПАТЕНТ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(копія)





УКРАЇНА

(19) UA (11) 132277 (13) U

(51) МПК (2019.01)

E21F 7/00

G01V 9/00

МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки:	u 2018 07537	(72) Винахідник(и):	Баранов Володимир Андрійович (UA), Антіпович Яна Валентинівна (UA)
(22) Дата подання заявки:	05.07.2018	(73) Власник(и):	ІНСТИТУТ ГЕОТЕХНІЧНОЇ МЕХАНІКИ ІМ. М.С. ПОЛЯКОВА НАН УКРАЇНИ, вул. Сімферопольська, 2-а, м. Дніпро, 49005 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель:	25.02.2019		
(46) Публікація відомостей про видачу патенту:	25.02.2019, Бюл.№ 4		

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ОБ'ЄМУ ГАЗОВИХ ВКЛЮЧЕНЬ В УЛАМКОВИХ ЗЕРНАХ ПОРІД

(57) Реферат:

Спосіб визначення об'єму газових включень в уламкових зернах газонасних порід включає відбір проб з визначеної частини стратиграфічного розрізу порід, виготовлення шліфів. Беруть не менше 10 стандартних шліфів із кожного досліджуваного прошарку порід, на мікроскопах типу ПОЛАМ Р-111, ПОЛАМ Р-113 з застосуванням об'єкт-мікрометра, при бічному освітленні з загальним збільшенням 1000-1200 крат, виділяють не менше 10 найбільш інформативних ділянок в уламкових зернах з різною кількістю газових включень та за стандартною формулою визначають середній об'єм газу в уламкових зернах: $V_{вкл.} = (S_{вкл.} / S_{д.д.}) / 100 \%$, де $V_{вкл.}$ - загальний об'єм газових включень; $S_{вкл.}$ - загальна площа включень; $S_{д.д.}$ - площа досліджуваної ділянки.

UA 132277 U

ДОДАТОК В

Акт передачі матеріалів науково-дослідної роботи на ВП «Шахта «Карбоніт»
ДП «Первомайськвугілля»

(копія)

ЗАТВЕРДЖУЮ Заступник директора ІГТМ НАН України наукової роботи, д.т.н., член-кор. НАН України  О.П. Круковський	ЗАТВЕРДЖУЮ Головний інженер ВП шахта «Карбоніт»  Шевцов Ю.І.
АКТ Передачі «Рекомендацій з прогнозу викидонебезпечності пісковиків на вугільних шахтах України» на ВП шахта «Карбоніт» ДП «Первомайськвугілля»	
Ми, що нижче підписалися, представники ІГТМ НАН України – зав. лаб., д.г.н., В.А. Баранов, с. н.с., к.г.н. П.С. Пашенко, м.н.с. Я.В. Антіпович з одного боку і представники ВП шахта «Карбоніт» ДП «Первомайськвугілля» - головний інженер Ю.І. Шевцов, головний геолог Н.А. Волошенко з другого боку, склали цей акт про те, що співробітники ІГТМ НАН України, на базі раніше розроблених і затверджених методів прогнозування викидонебезпечності пісковиків, що вміщують вугілля різних марок вуглефікації, розробили «Рекомендації з прогнозу викидонебезпечності пісковиків на вугільних шахтах України» і передали спеціалістам ВП шахта «Карбоніт» ДП «Первомайськвугілля», для подальшого використання, в разі виникнення можливих проблем з прогнозування викидонебезпечності пісковиків.	
Зав. лаб. ІГТМ НАН України, доктор геологічних наук, В.А. Баранов _____ Старший науковий співробітник, Кандидат геологічних наук П.С. Пашенко _____ Молодший науковий співробітник Я. В. Антіпович _____	Головний геолог ВП шахта «Карбоніт» Н.А. Волошенко _____

ДОДАТОК Г

Акт передачі матеріалів науково-дослідної роботи на ТОВ
«Краснолиманське»

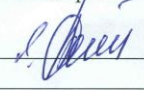
(копія)

ЗАТВЕРДЖУЮ Заступник директора ІГТМ НАН України з наукової роботи, д.т.н., член-кор. НАН України  О.П. Круковський	ЗАТВЕРДЖУЮ В.о. головного інженера ТОВ «Краснолиманське»  В.В. Медведєв
---	---

АКТ

передачі «Рекомендацій з прогнозу викидонебезпечності пісковиків на вугільних шахтах України на шахту ТОВ «Краснолиманське»

Ми, що нижче підписалися, представники ІГТМ НАН України - зав. лаб., д.г.н., В.А. Баранов, с.н.с., к.г.н., П.С. Пашенко, м.н.с. Я.В. Антіпович з одного боку і представники шахти ТОВ «Краснолиманське» - головний геолог В.П. Варващенко, в.о. головного інженера шахти В.В. Медведєв з другого боку, склали цей акт про те, що співробітники ІГТМ НАН України, на базі раніше розроблених і затверджених методів прогнозування викидонебезпечності пісковиків, що вміщують вугілля різних марок вуглефікації, розробили «Рекомендації з прогнозу викидонебезпечності пісковиків на вугільних шахтах України» і передали спеціалістам ТОВ «Краснолиманське», для подальшого використання, в разі виникнення можливих проблем з прогнозування викидонебезпечності пісковиків.

Зав. лаб. ІГТМ НАН України, доктор геол. наук. В.А. Баранов  Старший науковий співробітник, кандидат геологічних наук П.С. Пашенко  Молодший науковий співробітник Я.В. Антіпович 	Головний геолог ТОВ «Краснолиманське» В.П. Варващенко 
--	--