

# Прогнозування зон тектонічних порушень у вугільних пластах

*В.А. Баранов, П.С. Пащенко, С.В. Стефанко, 2022*

Інститут геотехнічної механіки ім. М. С. Полякова НАН України,  
Дніпро, Україна

Надійшла 17 лютого 2022 р.

У статті розглянуто проблему виділення поширених геологічних порушень у гірських породах. Мета дослідження — апробація методики виявлення тектонічних порушень і їх геометричних параметрів у вугільних пластах. Наведено результати аналізу накопиченої інформації, що стосуються вивчення мікроструктури вугілля — квазікристалів, яка є наслідком тектонічних напружень. Кількісні характеристики квазікристалів використовують для прогнозування динамічних і газодинамічних явищ у вугільних шахтах, порушених зонах і підзонах. Досліджено структуру вугілля у місці зафіксованого газодинамічного явища на одній з шахт Донбасу; вивчено зразки вугілля із застосуванням оптичної мікроскопії; наведено графічні результати об'ємного виділення плікативного порушення у викидонебезпечній зоні вугільного пласта і результати вимірів міцності вугілля; визначено зв'язок між властивостями міцності вугільного пласта і його мікроструктурними особливостями; встановлено геометричні параметри плікативного порушення і спрогнозовано розвиток порушення в даних умовах. Результати показують ефективність застосованої методики, що дає змогу підвищити безпеку ведення гірничих робіт у вугільних шахтах у разі прогнозування розвитку невидимих неозброєним оком геологічних порушень і запобігання газодинамічним явищам. Отримані дані є черговим свідченням належності динамічних, газодинамічних і термічних явищ до порушених зон та існуючої актуальності виділення їх сучасними методами.

**Ключові слова:** структура, порушені зони, квазікристали, вугілля, динамічні, газодинамічні і термічні явища.

**Вступ.** Зміна структури вугілля за дії тектонічних процесів, що призводять до виникнення порушених зон, — досить поширене явище. Незважаючи на це, деякі аспекти цих змін залишаються недостатньо вивченими. Наприклад, на сьогодні вченим складно прогнозувати наявність та поширення геологічних порушень у вугільних пластах, особливо якщо вони мають прихований (плікативний) характер.

Мета дослідження полягає в апробації методики з виявлення тектонічних порушень у вугільних пластах шляхом кількісного аналізу формування квазікристалів у порушених зонах. Це дає змогу виявляти невидимі неозброєним оком тектонічні порушення, прогнозувати їх параметри та вла-

стивості, підвищувати безпеку ведення робіт у вугільних шахтах.

Поняття структури вугілля досі залишається спірним — одні дослідники структури вугілля відносять до аморфної, інші виділяють п'ять структурних типів у вугіллі (вуглеутворювальних мікрокомпонентів) [Диагенез ..., 1971; Геологический словарь, 1978; Еремін и др., 1980; Лопатин, 1983; Горная ..., 1991]. У цій статті термін «структура» трактується як сукупність показників будови гірської породи, які визначають форму, розмір і співвідношення її складових частин.

Тривалі різноспрямовані тектонічні рухи насамперед збільшують рівень порушеності гірських порід. Тектонічна дія залишає

свій слід як на макрорівні у вигляді диз'юнктивних порушень, кліважу, так і на мікрорівні. У свою чергу, порушення структури породи визначає її тріщинуватість і є одним із факторів виникнення динамічних, газодинамічних явищ і самозаймання вугілля. З огляду на це тріщинуватість є видимим відображенням внутрішньої порушеності вугільного пласта.

Тріщинуватість, як одна з характеристик породи взагалі і вугілля зокрема, є важливою при визначенні властивостей цієї речовини. Вона як на макро-, так і на мікрорівні характеризує низку фізико-механічних параметрів вугілля — міцність, ступінь подрібнення, швидкість сорбції та десорбції газів, фільтраційну здатність та ін. Існують різні типи класифікацій тріщинуватості, але в цій статті увагу більшою мірою приділено не стільки тріщинам, скільки їх похідним — квазікристалам.

Великі порушення поділяють масив на блоки, дрібніші — на окремість — характерні форми блоків гірської породи, що утворюються за природного чи штучного розколювання та викликані наявністю у породі перехресних систем тріщин окремоостей. Це поширений та недостатньо вивчений тип порушень. «Розміри блоків різні — від кількох сантиметрів до кількох сотень метрів. Окремість зумовлена наявністю в породах видимих або прихованих систем тріщин, що перетинають окремість» [Геологический ..., 1978]. Таким чином, навіть наприкінці 70-х років минулого століття, як і в наш час, не існує чіткого поняття окремоостей, їх розмірів і можливості наявності мікроокремоостей.

**Аналіз літератури.** В середині 80-х років минулого століття (1984—1985) одним з авторів цієї статті було встановлено існування властивості речовини — за певних енергетичних умов формувати кристалоподібні тіла або утворювати субпаралельні площини ковзання. Це відбувається внаслідок ізотропії та анізотропії енергетичного стану речовини [Баранов, 2000, 2021]. Така властивість може бути первинною, тобто визначатися в період формування речовини (конкременти, клатрати в газогідратах, квазікри-

стали або осередки в піску тощо), або вторинною — виникати в період вторинного перетворення або енергетичної еволюції речовини (окремість у мінералах та породах) при викидах і термообробці, поліморфних перетвореннях та утворенні включень.

Це явище описано в літературі, патентах (№ 33252, № 40685, № 41111), нині його розвивають у різних прикладних аспектах, одним з яких є виділення параметрів порушених зон і підзон у гірських породах та вугіллі.

Аналіз наявних даних дає змогу розглядати окремість і блочність як один із напрямків загальної властивості порід — формувати геометрично правильні або кристалоподібні тіла. При цьому окремість, як процес вторинний, що утворюється на структурному рівні, відрізняється від спайності — первинного процесу, що формує площину в період зростання мінералу.

З наведеного вище випливає, що крім двох крайніх форм організації матерії (найбільш досконалої — кристалічної та найменш досконалої — аморфної) існує проміжна форма — квазікристалічна. Таким чином, як і при кристалоутворенні, природа створює для різних речовин певну форму первинного елементарного вічка, що формує вигляд мінералів, так, за певних умов, природа створює квазікристалічні форми, більш енергетично вигідні і стійкі для цього типу речовини.

Отже, дихотомія мінерального світу (кристалізаційна та аморфізаційна форми) — вираз лише крайніх гілок форм матерії. Інакше кажучи, перехідна форма — квазікристалічна — є логічною вставкою в ланцюжку перетворень речовини від аморфної до найбільш упорядкованої — кристалічної.

Квазікристалічна форма матерії містить: мікроокремість (розміри менше 1 мм), окремість (розміри в сантиметрах), блочність (розміри в метрах і кілометрах), негативні кристали (у мінералогії та петрографії — форми включень у мінералах), біогенні утворення (конкременти).

Назва «квазікристали» також має своє обґрунтування. Приблизно в той же час, коли було виявлено цю властивість матерії (1984—1985), ізраїльський фізик Ден Шехтман опи-

сав кристали з невідомою раніше симетрією, які він назвав «квазікристалами». Як зазначено у нобелівському посланні цього автора [Shechtman, 2011], «визначення кристалічності було недостатнім, щоб описати новий клас упорядкованих твердих речовин, і, як наслідок, визначення поняття «кристал», запропоноване Міжнародним союзом кристалографії, було змінено» (Clearly, the old definition of crystallinity was insufficient to cover this new class of ordered solids, and as a consequence, the definition of «crystal» given by the International Union of Crystallography was changed).

Однак визначення поняття «квазіподібне» не можна трактувати як новий клас кристалів, оскільки всі кристали мають далекий порядок, а різні відхилення від абсолюту, якого, власне, в природі немає, властиві цьому виду матерії. Таким чином, під цією назвою існує два типи форм організації матерії: квазікристали Д. Шехтмана — некоректно названі кристали з нетиповими осями симетрії, далеким порядком, і квазікристали В.А. Баранова — нова форма організації матерії незалежно від наявності симетрії, порядку та рівня організації. Другий тип форми, знайдений у природних і штучних, органічних і неорганічних матеріалах, характеризується наявністю правильних (але не ідеальних) геометричних форм на різних розмірних рівнях, у різних типах природної та штучної матерії.

Паралельно інші автори вивчали частинки вугільного пилу, зокрема за допомогою методів оптичної та електронної мікроскопії. Роботи проводилися переважно в межах вивчення викидонебезпечності вугільних пластів Донбасу. Результати були представлені в різних наукових публікаціях. Розглянемо деякі з них.

Співробітниками МакНДІ [Недин, Нейков, 1967; Петрухин и др., 1981] проведено дослідження щодо визначення дисперсного складу пилу та форм частинок зруйнованого вугілля. Для характеристики форм частинок автори використовували співвідношення їх розмірів за трьома осями: довжиною, шириною і товщиною. Було виділено такі геометричні форми: кубічну, стовпчасту, плитчасту, подовжено-плитчасту, плас-

тинчасту та подовжено-пластинчасту. Переважання будь-якої з цих форм, на думку авторів, безпосередньо залежить від фізико-механічних властивостей вугілля (структури, зламу, твердості, крихкості та ін.). Встановлено, що для частинок понад 40 мкм основним фактором, що визначає форму, є мікротріщинуватість пласта. Форма дрібніших частинок зумовлена фізико-механічними властивостями вугілля. Кубічні та стовпчасті форми окремо утворюються при руйнуванні вітринізованої частини вугільної речовини, а пластинчасті та плитчасті — при руйнуванні фюзинітів.

А.А. Борисенко відбирав проби зруйнованого вугілля з місця викиду, після механічного впливу, у лабораторії під мікроскопом зі збільшенням до 100 крат вивчав форми вугільних частинок. Він виділив мікрочастинки з кубічною та видовженою формою, що характеризуються співвідношенням мінімального розміру до максимального 1:2, а також плоску форму — із співвідношенням 1:3. Усього було проаналізовано 29 вугільних проб, унаслідок чого виявлено, що вміст частинок кубічної форми збільшується із зменшенням їхнього розміру. Кубічну форму переважно мають частинки розміром менше 0,25 мм. Для викидонебезпечного вугілля така залежність виявляється частіше — вміст часточок розміром 0,125 мм і більше в зруйнованому при раптовому викиді вугілля становить від 75 до 94 % (за масою). Автор зробив висновок, що при подрібненні вугілля утворюються частинки, які співвідносяться з природними структурними окремостями, але він не виявив причини появи подібних форм [Борисенко, 1985].

Подібні мікроокремості були детально вивчені в різних зонах викидонебезпечних вугільних пластів. У статті [Дрындин и др., 2000] показано результати дослідження мікроструктури вугілля за допомогою електронного мікроскопа до викиду, після викиду та зміни структури залежно від відстані між викидонебезпечними зонами та осями деформації. Отримані дані дали змогу авторам зробити такі висновки:

— частинки вугілля здебільшого мають форму, близьку до прямокутного паралелепі-

- педа, із співвідношенням розмірів 2:1:1;
- середній розмір частинок збільшується в міру віддалення викидонебезпечних зон;
- мікроструктура вугілля в пробах, відібраних до ініційованого викиду та в «бешеной муке», ідентична.

О.А. Карамушка досліджувала концентрацію та форму квазікристалів вугілля порушених і непорушених зон вугільного пласта. Згідно з її даними [Карамушка, 2013], порушеним, тріщинуватим (отже, і викидонебезпечним) зонам вугільного пласта властиві підвищені усереднені значення вмісту квазікристалів, а для непорушених зон вміст частинок таких же розмірів має невисокі середні значення (таблиця). Таким чином, встановлено, що тривалий тектонічний вплив призводить до формування порушеної зони, суттєвих структурних перетворень у ній і появи квазікристалів, що є індикаторами підвищених тектонічних напружень.

Слід зазначити, що крім такого зв'язку існують також геохімічні ознаки наявності зон підвищеної тріщинуватості. Наприклад, дослідженнями В.В. Ішкова та Є.С. Козія [Ішков, Козій, 2017; Козій, 2018; Нестеровський та ін., 2020] встановлено зв'язок сульфідної мінералізації вугільних пластів з такими зонами. Показники аномально високого вмісту арсену та ртуті відповідають ділянкам підвищеної тріщинуватості у вуглепородному масиві, що є свідченням їхнього генетичного зв'язку з розривними порушеннями. Підвищений вміст деяких елементів у вугільному пласті може вказувати на

вільну міграцію флюїдів і газів, тому при перерізі гірничими виробками подібних зон може відбуватися прискорене окиснення вугілля шахтним повітрям, що загрожує початком процесу самозаймання пласта. Ймовірність самозаймання вугілля зростає за участю газів, що виділяються, та перетворення сполук заліза (піриту, марказиту, піротину) [Mametova et al., 2020].

Найчастіше залежністю між тріщинуватістю вугільного масиву та її схильністю до самозаймання у розрахунках нехтують. Так, автори [Недин, Нейков, 1967; Петрухин и др., 1981] вважають, що зазначена схильність вугілля визначається за методикою, що включає чотири фактори: константу швидкості окиснення, здатність до дроблення, критичну температуру самозаймання та теплоту поглинання кисню. Втім, як показує практика, ця методика не досконала, оскільки деякі її параметри залежать від ступеня порушеності структури. У ній також не враховано такі фактори, як вплив ступеня порушеності вугілля, вологість, температура, газоносність пласта та ін.

Таким чином, наявність квазікристалів у вугіллі, їх розмір, концентрація мікроелементів дають змогу визначити ступінь тріщинуватості пласта, а це, зі свого боку, є важливою характеристикою ступеня порушеності породи. Крім того, виділені такими способами зони підвищеної тріщинуватості на вугільних родовищах нерідко виявляються зонами скупчення метану, що зумовлює виникнення газодинамічних явищ (ГДЯ).

**Мікроструктурні характеристики вугілля з порушеної та непорушеної зон вугільних пластів і фракції зерен розміром менше як 0,2 мм (кількість проб — 49)**

Зона вугільного пласта	Марки вугілля	Середні значення вмісту квазікристалів вугілля у пробах, %
Порушена: насув скид	Д, Г,	1,8—6,0
	Ж, К,	1,8; 2,2—5,2 2,0
Непорушена	ПС	1,0

Відповідно до розглянутих публікацій зроблено висновок, що порушені зони є каталізатором викидонебезпеки, газодинамічних явищ та самозаймання вугілля. У них формуються квазікристали як наслідок зміни ентропії цієї речовини, які при подальшому руйнуванні залишаються у вугільному дріб'язку та пилу. Така трансформація передбачає, що з підвищенням внутрішнього пластового тиску та тривалості його дії кількість квазікристалів має зростати, а їх розмір закономірно зменшуватися. Підтвердженням цього є результати, наведені у публікаціях [Баранов, 2021; Карамушка, 2013].

Методика встановлення зон порушеності за кількістю квазікристалів детально описана у статті [Баранов, Карамушка, 2008] і має таку послідовність:

- відбір проб з вибою гірничої виробки чи штибу з випереджальної свердловини;
- квартування проб до 0,3 г;
- визначення відсоткового складу квазікристалів під мікроскопом;
- 100 %-й внутрішній лабораторний контроль отриманих значень;
- аналіз отриманих результатів.

**Дослідження викидонебезпечного вугілля.** У процесі виконаних досліджень, пов'язаних із визначенням тектонічного впливу на формування порушених зон та вмісту в них квазікристалів вугілля, було зібрано додатковий обсяг інформації. Для виділення зони плікативного порушення методу було задіяно на одній із шахт Донбасу в місці зафіксованого раніше газодинамічного явища. Результати виконаних досліджень наведено нижче.

У шахті на видобувній ділянці горизонту 1146 м було зафіксовано викид вугілля у робочій лаві пласта  $m_3$ . Кут падіння пласта та порід  $55\text{--}62^\circ$ , відпрацювання лави ведеться щитовим агрегатом. Газодинамічне явище трапилося під час роботи щитового агрегату на перетині робочої (14) і неробочої (15) панелей (рис. 1).

Для з'ясування причин проведено низку перевірок. Під час огляду місця викиду виокремлено певну особливість: вище за повстанням пласта від місця викиду, на горизонті 1026 м, підготовчими виробками рані-

ше було пересічено геологічне порушення насувного характеру (рис. 2).

Розташування цього порушення на горизонті 1146 м по лінії перетину було внесено до гірничо-геологічної документації. Однак при розробці ділянки вугільного пласта на цьому горизонті, за передбачуваною лінією зсуву, видимого порушення не було виявлено. Незважаючи на це, неподалік від передбачуваної лінії зміщення відбулося ГДЯ. Таким чином, за результатами виконаного аналізу можна зробити висновок, що виявлене диз'юнктивне геологічне порушення у верхньому горизонті перейшло в плікативне на нижньому.

Для детального вивчення ступеня порушення пласта поряд з місцем викиду було проведено відбір 15 вугільних проб: 6 — у вугільному пласті біля місця викиду; 1 — дріб'язок вугілля з конуса викиду; 8 — із чотирьох точок вугільного пласта за його падінням, по одній поблизу з покрівлею та ґрунтом (рис. 3). Відібрані вугільні проби було проаналізовано під оптичним мікроскопом МБС-1 на наявність квазікристалів (рис. 4).

На графіку бачимо, що вміст квазікристалів у різних точках відбору проб змінюється, що, ймовірно, вказує на різні відстані місць відбору від центру порушеної зони. Цей факт свідчить про те, що біля згаданих точок, можливо, знаходиться основна поверхня тріщинуватої зони, а також що для формування квазікристалів необхідна підвищена енергія стиснення — чим вона більша, тим більше утворюється квазікристалів меншого розміру.

Аналізуючи результати дослідження концентрації квазікристалів різних фракцій, можна зробити висновок, що кожна з фракцій є показовою, але за умови, що для всіх проб буде використовуватися єдина фракція. Тому для подальшого дослідження було обрано фракцію частинок розміром 0,05—1,0 мм, яка є зручною для вивчення квазікристалів під мікроскопом, оскільки кількість зерен такого розміру достатня для визначення кількісних характеристик і дослідження їх геометрії.

Після аналізу отриманих результатів мікроскопічних досліджень і навіть вимірів трі-

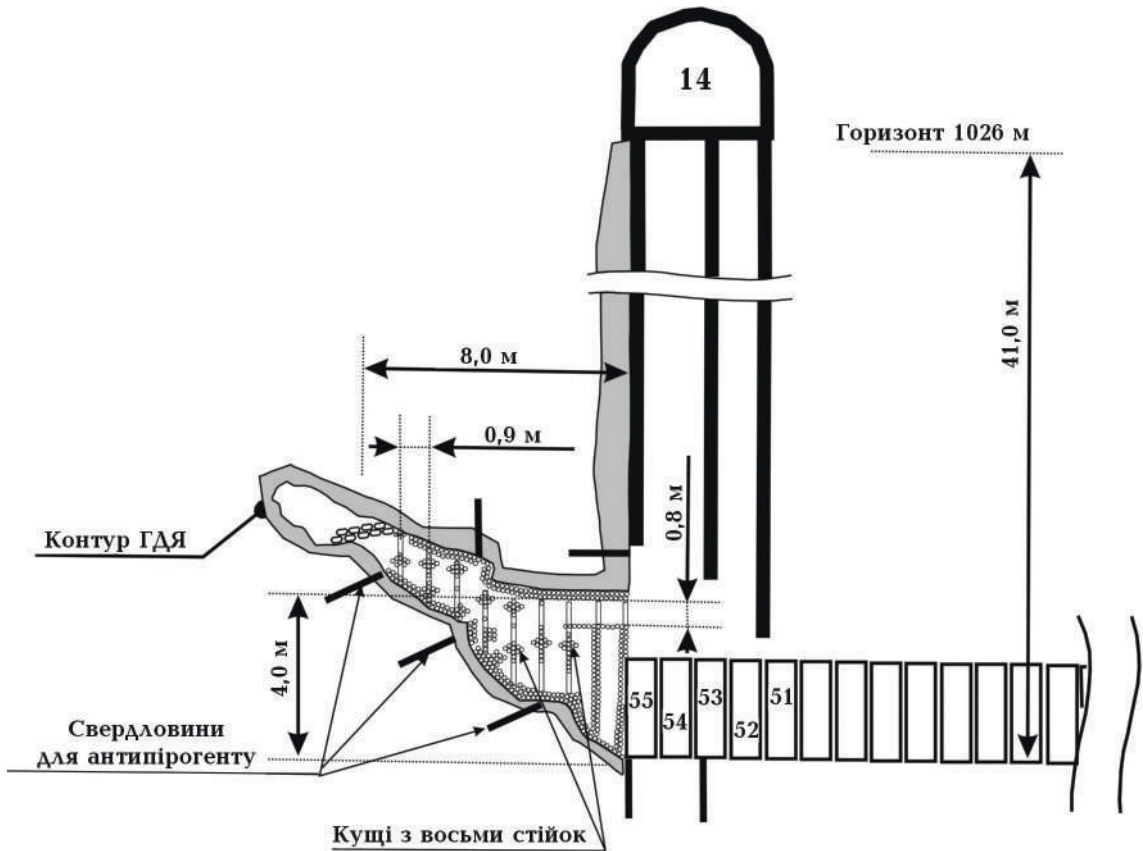


Рис. 1. Ескіз ведення гірничих робіт на ділянці 45—1146 м після викиду вугілля.

Fig. 1. Sketch of mining operations at the site 45—1146 m after coal blowout.

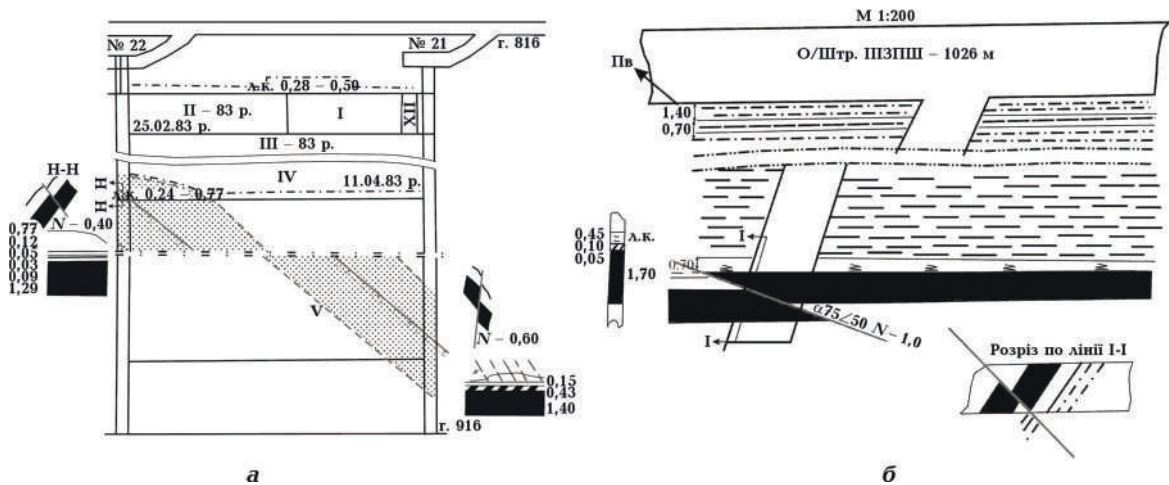


Рис. 2. Замальовка задокументованого геологічного порушення: *а* — за падінням пласта між горизонтами 816—916 м; *б* — у квершлязі III ЗПШ 42—1026 м.

Fig. 2. Sketch of the documented geological disturbance: *a* — along the dip of the formation between the horizons of 816—916 m; *b* — in the crosscut III ZPSh 42—1026 m.

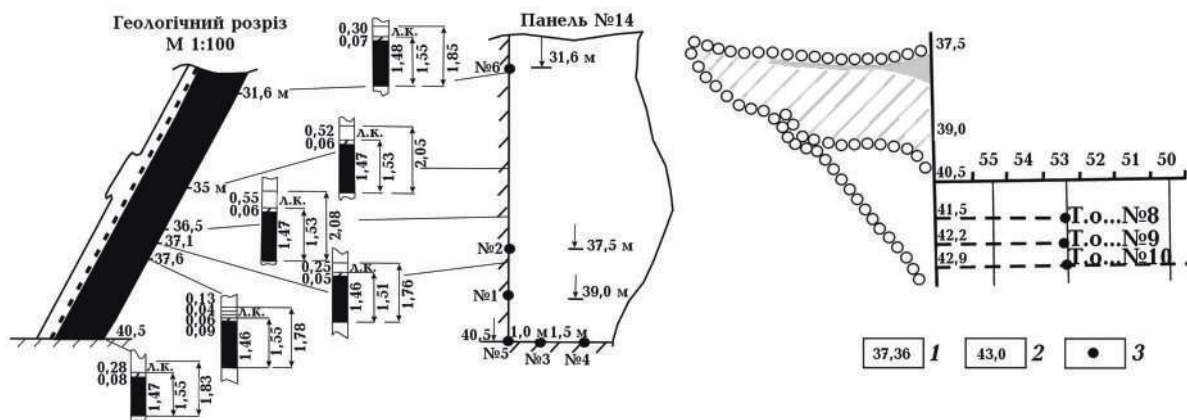


Рис. 3. Точки відбору проб на ділянці № 42 горизонту 1146 м (панель № 14): 1 — секції агрегату похилого щитового (АПЩ); 2 — положення секції АПЩ за падінням пласта від горизонту 1023 м; 3 — точки відбору проб.

Fig. 3. Sampling points at site No 42, horizon 1146 m (panel No 14): 1 — sections inclined panel unit (IPU); 2 — the position of the IPU section along the dip of the formation from the horizon of 1023 m; 3 — sampling points.

щинуватості вугільного пласта, виконаних співробітниками інституту, побудовано карту розвитку порушеної зони (рис. 5). Ця зона характеризується підвищеним вмістом квазікристалів і високим коефіцієнтом тріщинуватості. Кількість квазікристалів різко зростає до 4,6 % від навколишнього фону 2,4 %. Ділянками з порушеною структурою є точки відбору проб 2—4. Зауважимо, що фонові значення кількості квазікристалів перевищують усереднені значення інших шахт та пластів цієї марки непорушених зон такої ж фракції. Цей факт свідчить про те,

що порушена зона вугільного пласта простягається на значну відстань від місця ГДЯ.

Геометрія розташування порушеної зони така: вона витягнута на 8—10 м від місця викиду вздовж падіння пласта і простягається від правого борту лави до центральної частини на 3,5—4 м. Якщо прив'язати місце викиду до місця найбільшого значення порушеності, то центр порушення виявляється зміщеним у ліву частину простягання пласта. Отримані результати вказують на те, що ліве крило вугільного пласта було активним і переміщувалося по змішувачу,

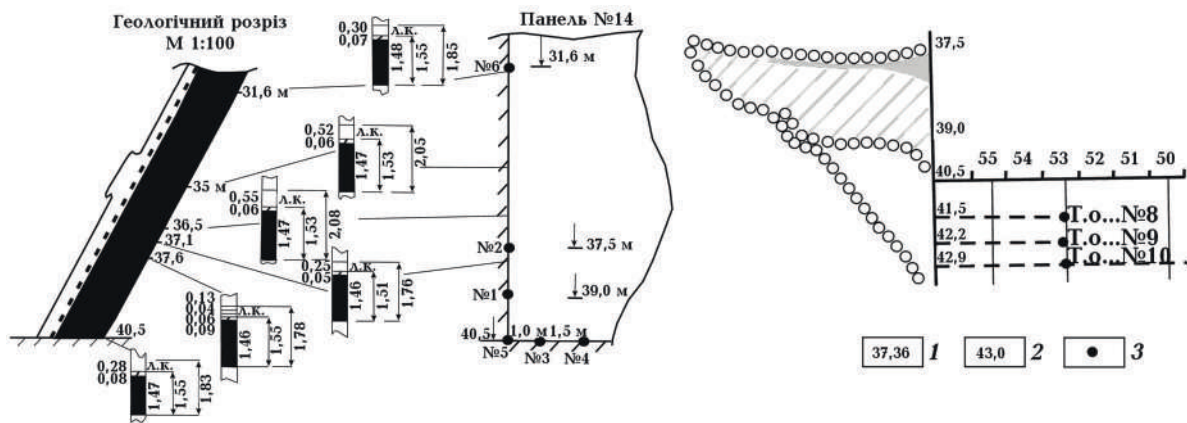


Рис. 4. Концентрація квазікристалів в точках відбору проб.

Fig. 4. Quasi-crystals concentration at sampling points.

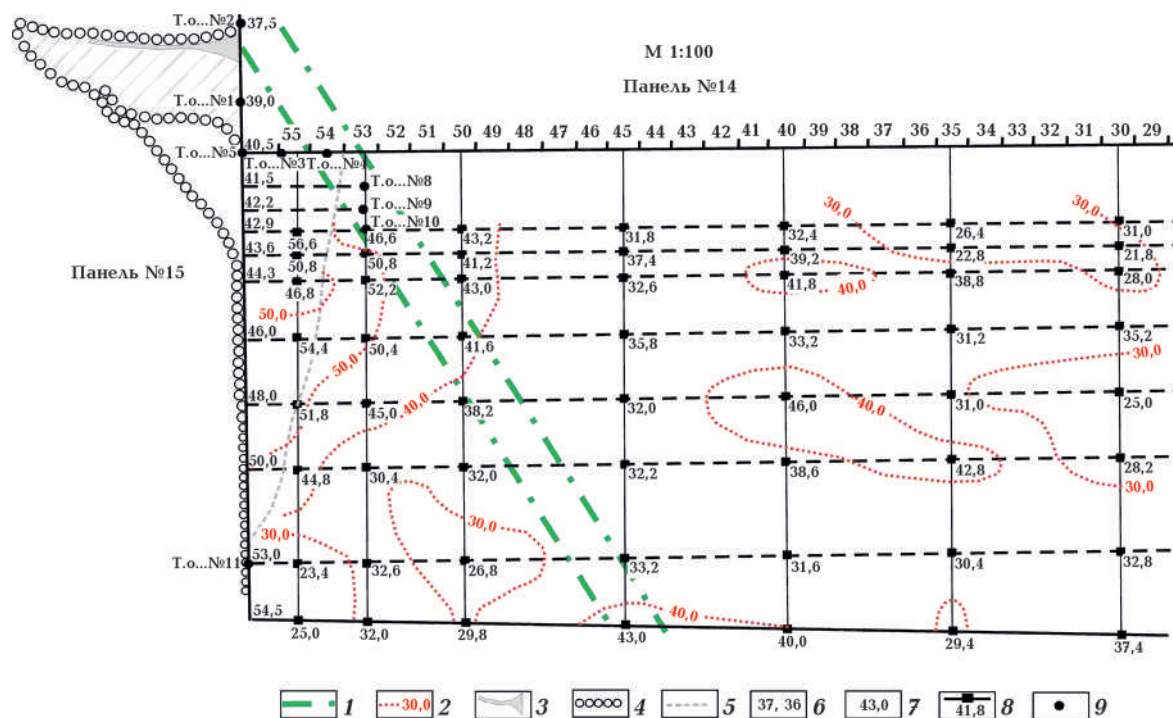


Рис. 5. Схема розвитку порушеної зони в масштабі 1 : 100: 1 — прогнольні контури порушеної зони; 2 — ізолінії міцності вугілля; 3 — контури порожнини після ГДЯ; 4 — контури порожнини після збирання сипкого вугілля; 5 — контур сипкого вугілля; 6 — секції АПЩ; 7 — положення АПЩ від вентиляційного горизонту 1026 м; 8 — значення міцності вугілля; 9 — місця відбору проб.

Fig. 5. The scheme of the disturbed zone development on a scale of 1 : 100: 1 — the outlines of the disturbed zone; 2 — isolines of coal strength; 3 — contours of the cavity after the GDP; 4 — contours of the cavity after loose coal harvesting; 5 — a contour of loose coal; 6 — sections IPU; 7 — position of IPU from ventilation mountains 1026 m; 8 — measurements of the strength of coal; 9 — sampling points.

тоді як правий блок залишався на місці. Тобто це порушення можна схарактеризувати як скид, який на цій ділянці пласта виявляється у плікативній формі.

Загалом геологічне порушення має ширину трохи більше 2 м та асиметричні крила простягання порушеної зони. Ступінь асиметрії, ймовірно, може змінюватися від зовнішніх факторів: кута падіння порід, потужності вугільного пласта, його будови, розміру порушення, ступеня вуглефікації вугілля та ін. Проте слід пам'ятати, що зображена на схемі лінія простягання порушення дуже умовна, оскільки в природі прямі лінії розломів трапляються рідко.

Є важливим визначення ступеня асиметричності порушених зон на різних шахтах, у різних районах, різних підстадіях катагенезу та для різних умов у цілому. Ступінь асиметрії порушення можна визначати не

лише якісно, а й кількісно, використовуючи зміну коефіцієнта щільності концентрації квазікристалів.

**Висновки.** Дослідження проб вугілля з місця викиду на одній із шахт Донбасу із застосуванням розробленої методики дало змогу вперше виділити об'ємну форму викидонебезпечної ділянки порушеної зони. Результати підтвердили здатність розробленої та апробованої методики фіксувати структурні зміни у вугільному масиві, за якими розвиваються геологічні порушення. Це, зі свого боку, дало змогу підвищити безпеку ведення гірничих робіт за допомогою виявлення та прогнозування диз'юнктивних і плікативних зон та підзон тектонічних порушень у вугільному масиві. Як показує практика, такі зони місцями сприяють виникненню ГДЯ та формуванню ділянок самозаймання.



Подальший розвиток робіт буде спрямовано на уточнення зв'язку динамічного, термічного чи газодинамічного явищ зі структурним станом вугілля в конкретних умовах даного шахтного поля. Нині за допомогою випробуваної методики можна виділяти порушену зону, виявляти в ній підзони

(якщо є), визначати морфологію та геометричні параметри порушення. Цю методику можна випробувати і застосовувати не тільки для вугільних підприємств, а й для інших копалень, кар'єрів, шахт, оскільки принципи формування порушених зон не обмежуються видом корисних копалин.

### Список літератури

- Баранов В.А. Квазикристаллы в кварце песчаников Донбасса. *Геотехническая механика*. 1998. № 10. С. 35—40.
- Баранов В.А. Комплексный прогноз выбросоопасности горных пород. Днепр: Издатель Белая Е.А., 2021. 300 с.
- Баранов В.А. Структурні перетворення пісковиків Донбасу і прогноз їх викидонебезпечності: *автореф. дис. ... г-ра геол. наук*. Дніпропетровськ, 2000. 36 с.
- Баранов В.А., Карамушка О.А. Методика выделения нарушенных зон по микроструктурным параметрам угля. *Науковий вісник НГУ*. 2008. № 12. С. 33—35.
- Борисенко А.А. *Диспергирование углей при внезапных выбросах*. Москва: Наука, 1985. 96 с.
- Геологический словарь. Под ред. К.Н. Паффенгольца. Москва: Недра, 1978. Т. 2. С. 332—336.
- Горная энциклопедия. Москва: Советская энциклопедия, 1991. Т. 5. С. 238—239.
- Диагенез и катагенез осадочных образований. Москва: Мир, 1971. 464 с.
- Дрындин В.А., Михина Т.В., Митрофанов Д.В. Экспериментальные исследования геофизических параметров и микроструктуры угля выбросоопасных зон угольных пластов. *Горный информационно-аналитический бюллетень МГГУ*. 2000. № 7. С. 210—211.
- Еремін І.В., Лебедев В.В., Цикарев Д.А. *Петрография и физические свойства углей*. Москва: Недра, 1980. 263 с.
- Ішков В.В., Козій Є.С. Про розподіл токсичних і потенційно токсичних елементів у вугіллі пласта с<sub>7</sub><sup>н</sup> шахти «Павлоградська» Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району. *Вісник Київ. нац. ун-ту імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2017. № 4(79). С. 59—66. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.79.09>.
- Карамушка О.О. Структурні критерії виділення порушених зон у вугільних пластах Донбасу: *автореф. дис. ... канд. геол. наук*. Дніпропетровськ, 2013. 20 с.
- Козій Є.С. Миш'як, берилій, фтор і ртуть у вугіллі пласта с<sub>8</sub><sup>в</sup> шахти «Дніпровська» Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району. *Вісник Дніпропетровського університету. Геологія—Географія*. 2018. № 1(26). С. 113—120. <https://doi.org/10.15421/111812>.
- Лопатин Н.В. *Образование горючих ископаемых*. Москва: Недра, 1983. 193 с.
- Недин В.В., Нейков О.Д. *Современные методы исследования пыли*. Москва: Недра, 1967. 170 с.
- Нестеровський В.А., Ішков В.В., Козій Є.С. Токсичні і потенційно токсичні елементи у вугіллі пласта с<sub>8</sub><sup>н</sup> шахти «Благодатна» Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району. *Вісник Київ. нац. ун-ту імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2020. № 1(88). С. 17—24. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.88.03>.
- Петрухин П.М., Гродель Г.С., Жиляев Н.И. *Борьба с угольной и породной пылью в угольных шахтах*. Москва: Недра, 1981. 271 с.
- Mametova, L.F., Mirek, A., & Kozii, Ye.S. (2020). Pyritization of the Middle Carboniferous Sandstones of the Donbas. *Мінерал. журн.* Т. 42. № 2. С. 14—19. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.42.02.014>.
- Shechtman, D. (2011). Retrieved from <https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/advanced-chemistryprize2011.pdf>.

## Forecast of tectonic disturbances zones in coal layers

V.A. Baranov, P.S. Pashchenko, S.V. Stefanko, 2022

Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov  
of National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipro, Ukraine

This paper considers the problem of identifying geological disturbances that are ubiquitous in rocks. The purpose of the work is to test the methodology for identifying tectonic faults and their geometric parameters in coal seams. The article presents the results of the analysis of the accumulated information concerning the study of the microstructure of coal — quasicrystals, which are a consequence of tectonic stresses. Their quantitative characteristics are used to predict dynamic and gas-dynamic phenomena in coal mines, disturbed zones and subzones. Employees of the IGTМ NAS of Ukraine carried out studies of the structure of coal in the place of the recorded gas-dynamic phenomenon at one of the mines of Donbass; selected, prepared and studied coal samples using optical microscopy; presented the graphical results of the volumetric allocation of plicative disturbance in the outburst zone of the coal seam and the results of measurements of the strength of the coal; determined the relationship between the strength properties of the coal seam and its microstructural features; established the geometric parameters of the plicative disturbance and made a prediction of the development of the disturbance under these conditions. The results obtained show the effectiveness of the applied methodology, allow increasing the safety of mining operations in coal mines, by predicting the development of geological disturbances invisible to the naked eye and preventing gas-dynamic phenomena. The results obtained are further evidence of the confinement of dynamic, gas-dynamic and thermal phenomena to disturbed zones and the existing relevance of their identification by modern methods.

**Key words:** structure, disturbed zones, quasicrystals, coal, dynamic, gas-dynamic and thermal phenomena.

### References

- Baranov, V.A. (2021). *Comprehensive forecast of outburst hazard of rocks*. Dnipro: Publisher Belaya E.A., 300 p. (in Russian).
- Baranov, V.A. (1998). Quasicrystals in quartz sandstones of Donbass. *Geotekhnicheskaya mekhanika*, (10), 35—40 (in Russian).
- Baranov, V.A. (2000). Structural transformations of Donbas sandstones and the forecast of their release hazard. *Extended abstract of Doctor's thesis*. Dnipropetrovsk, 36 p. (in Ukrainian).
- Baranov, V.A., & Karamushka, O.A. (2008). Methodology for identifying disturbed zones based on microstructural parameters of coal. *Scientific Bulletin of National Mining University*, (12), 33—35 (in Russian).
- Borisenko, A.A. (1985). *Dispersion of coals during sudden outbursts*. Moscow: Nauka, 1985. 96 p. (in Russian).
- Paffengolz, K.N. (Ed.). (1978). *Geological dictionary*. Moscow: Nedra, 1978. Vol. 1, 2, 332—336 (in Russian).
- Mountain Encyclopedia*. (1991). Moscow: Sovetskaya entsiklopediya, Vol. 2, 5, 238—239 (in Russian).
- Diagenesis and catagenesis of sedimentary formations*. (1971). Moscow: Mir, 464 p. (in Russian).
- Dryndin, V.A., Mikhina, T.V., & Mitrofanov, D.V. (2000). Experimental studies of geophysical parameters and microstructure of coal in out-

- burst hazardous zones of coal seams. *Mining Information and Analytical Bulletin of Moscow State Mining University*, (7), 210—211 (in Russian).
- Eremin, I.V., Lebedev, V.V., & Tsikarev, D.A. (1980). *Petrography and physical properties of coals*. Moscow: Nedra, 263 p. (in Russian).
- Ishkov, V.V., & Kozii, E.S. (2017). Distribution of toxic and potentially toxic elements in the coal of layer  $c_7^H$  of the «Pavlogradska» mine of Pavlograd-Petropavlovsk geological and industrial district. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv: Geology*, (4), 59—66. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.79.09> (in Ukrainian).
- Karamushka, O.O. (2013). Structural criteria for selection of disturbed zones in coal seams of Donbas. *Extended abstract of candidate's thesis*. Dnipropetrovsk, 20 p. (in Ukrainian).
- Kozii, E.S. (2018). Arsenic, beryllium, fluorine and mercury in the coal of layer  $s_{8v}$  of the Dniprovsk mine of the Pavlograd-Petropavlovsk geological and industrial district. *Visnyk Dnipropetrovs'koho universytetu. Heolohiya—Heohrafiya*, (1), 113—120. <https://doi.org/10.15421/111812> (in Ukrainian).
- Lopatin, N.V. (1983). *The formation of fossil fuels*. Moscow: Nedra, 193 p. (in Russian).
- Nedin, V.V., & Neykov, O.D. (1967). *Modern methods of dust research*. Moscow: Nedra, 170 p. (in Russian).
- Nesterovskyi, V.A., Ishkov, V.V., & Kozii, Ye.S. (2020). Toxic and potentially toxic elements in the coal of the seam  $c_8^H$  of the «Blagodatna» mine of Pavlohrad-Petropavlivka geological and industrial area. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv: Geology*, (1), 17—24. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.88.03> (in Ukrainian).
- Petrukhin, P.M., Grodel, G.S., & Zhilyaev, N.I. (1981). *Fight against coal and rock dust in coal mines*. Moscow: Nedra, 271 p. (in Russian).
- Mametova, L.F., Mirek, A., & Kozii, Ye.S. (2020). Pyritization of the Middle Carboniferous Sandstones of the Donbas. *Мінерал. журн.* Т. 42. № 2. С. 14—19. <https://doi.org/10.15407/mineral-journal.42.02.014>.
- Shechtman, D. (2011). Retrieved from <https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/advanced-chemistryprize2011.pdf>.