

УДК 553.981:553.94:543.88 (477.61/62)

**РОЗВИТОК СИСТЕМ КЛІВАЖУ І МАЛОАМПЛІТУДНОЇ
ТЕКТОНІКИ ТА ЇХ ВПЛИВ НА ВИКИДОНЕБЕЗПЕЧНІСТЬ
ВУГІЛЬНИХ ПЛАСТІВ У МЕЖАХ ГІРНИЧОГО
ВІДВЕДЕННЯ ШАХТИ ІМ. О. Ф. ЗАСЯДЬКА**

Привалов В. О.

(ДонНТУ, м. Донецьк, Україна),

Панова О. А.

(УкрНДМІ НАНУ, м. Донецьк, Україна)

Саксенхофер Р. Ф., Рейшенбахер Д.

(Леобенський гірничий університет, м. Леобен, Австрія)

Ткаченко О. В.

(АП Шахта ім. О. Ф. Засядька, м. Донецьк, Україна)

Пилюгін Д. В.

(ДонНТУ, м. Донецьк, Україна)

Представлены результаты геометризации и рассмотрены механизмы возникновения тектонической нарушенности и систем кливажа в пределах горного отвода шахты им. А. Засядько. Наблюдения в горных выработках показывают, что единичные и незначительные по уровню микропроявления газодинамических явлений не имеют четкой корреляции с геологической структурой, в то время как мезо-и мегапроявления этих опасных явлений локализируются вдоль зон разрывных и складчатых нарушений. Установлено, что большинство выбросов угля и газа тяготеет к надвиговым структурам в пределах тектонических зон, возникших в условиях сдвигового поля напряжений. Рассмотрены условия формирования и исследована роль в возникновении выбросоопасных условий систем субпараллельного напластованию тонкопластинчатого кливажа.

This paper presents results of geometric modeling and characterization of origin of tectonic zones and cleat systems within Zasydko

coal mine. It has been observed that small-scale gas-geodynamic events, which tend to occur at the mining face, are typically unrelated to geological structure, whereas larger events are structurally controlled as they are preferably located along tectonic fault and fold zones. Evidences indicate that most of coal-and-gas outbursts are structurally related to thrust duplexes within tectonic zones of strike-slip origin. There have been studied conditions of forming for thrust related subhorizontal thin-plate cleat systems in coal seams and their role in formation of outburst-prone domains.

Донецький басейн - один з найбільших за запасами вугільних басейнів світу та головна вугільна база України [1-5]. Біля 95,4 % вітчизняного вуглевидобутку приходить на Донбас.

Українські вугільні шахти справедливо вважаються одними з найнебезпечніших у світі. Викиди газів під час підземних робіт та зумовлені цим небезпечні умови гірничо-видобувних робіт - це основні проблеми, що стримують безпечний та ефективний видобуток вугілля у Донбасі. Практика інтенсивного ведення робіт на викидонебезпечних пластах щорічно доповнює неутішну статистику виникнення газодинамічних явищ новими випадками, в тому числі, з людськими жертвами.

У Донбасі більшість шахт видобуває вугілля на ділянках окремих тектонічних блоків, що обмежені регіональними насувами, на теренах яких розвинуто зони (переважно зсувного походження [6]) концентрованого розвитку малоамплітудних тектонічних порушень.

Скорочення обсягів вуглевидобутку та зниження добових навантажень на забої виробок в межах більшості підприємств вуглевидобувної галузі в Донбасі створило ілюзорний образ тенденції загального зниження кількості газодинамічних явищ в шахтах [7]. Тим часом, на тих підприємствах, де гірничі роботи переходять на все більш глибокі горизонти, а інтенсифікація гірничо-експлуатаційних робіт неухильно зростає, геодинамічна активність і газозбагаченість гірничих виробок стають основними чинниками, що стримують темпи видобутку вугілля за рахунок різкого погіршення умов безпеки праці. Об'єктивно, актуальність ці-

єї проблеми сягає критичних рівнів в межах гірничих відведень "шахт-ветеранів", як то шахта ім. О. Засядька, котра введена в експлуатацію у 1958 р.

Саме тут тривала експлуатація призвела до практично повної виїмки вугілля в межах центральних бремсбергових і уклонних полів, що зумовило необхідність переходу до відпрацювання на глибоких горизонтах тектонічно ускладнених флангових полів, що примикають до природних границь шахт, якими є, як правило, регіональні розривні порушення і зникаючі крила флексурних складок. У такій ситуації більш 50 % гірничо-експлуатаційних робіт виявляється в зонах впливу тектонічних геологічних порушень.

Головними ознаками викидів вугілля та газу є майже миттєве руйнування частини гірського масиву біля вибою гірничої виробки з високим ступенем подрібнення вугілля, підвищенням газовиділення і наявністю порожнин в масиві гірських порід [8, 9]. Перед раптовим викидом вугілля та газу спостерігається значне підвищення сейсмоакустичної активності масиву, своєрідне «лущення» або «стріляння» вміщуючих порід. З ускладненням тектонічної будови шахтного поля, розвитком дрібних плікативних та диз'юнктивних порушень небезпека викидів зростає.

У 1979 р. В.С. Попов [10] вперше звернув увагу на те що, за даними підземного геологічного картування, більшість малоамплітудних розривів в Донбасі сконцентровано в межах специфічних смугоподібних у плані тектонічних зон або тектоносмуг. Останні розташовуються усередині тектонічних блоків, трасуються практично по всіх вугільних пластах у вигляді 1-2 азимутних напрямів, косо зорієнтованих до регіональних розривів на межах тектонічних блоків. В.С. Попов справедливо вважав, що різноманіття мікротектонічних форм в межах тектоносмуг є результатом дії специфічних внутрішньопластових напруг, концентраторами яких виступають самі вугільні пласти (див. нижче дуплекси стиснення).

У роботах [11, 6] на прикладі Донецько-Макіївського району Донбасу встановлено, що:

1) плитоподібні в трьохвимірному просторі, витримані по простяганню зони концентрованого розвитку малоамплітудної

тектоніки (тектоносмуги) генетично є результатом сколового механізму разлінзування масиву гірських порід площинами максимальних дотичних напружень, тобто мають беззаперечно зсувне походження;

2) контрастність тектоносмуг на навколишньому фоні визначається інтенсивністю зсувних деформацій, а їх просторове положення пов'язане з орієнтуванням векторів головних нормальних напружень, при цьому, вісь максимальних стискуючих напружень σ_1 займає положення бісектриси гострих кутів $2\theta = 52\dots78^\circ$ (середнє значення 60°) на перетині парних спряжених тектоносмуг;

3) тектоносмуги одного порядку рівновіддалені одна від одної, що додає шахтним полям мозаїчно-блокову будову (наприклад, ромбоподібна сітка тектоносмуг в межах гірничого відведення шахти ім. газети «Донбас»);

4) у контурі тектоносмуг розвинені різні морфологічні типи малоамплітудної тектоніки (диз'юнктиви - багатоступінчаті уступи і луски, односторонні розриви підосви і покрівлі вугільних пластів, мікроскладки, флексурні вигини, порушення первинної структури і потужності вугільного пласта – зони брекчирування, препарування вугілля, роздування, пережими і клиновидні укорінення вугілля у вміщуючі породи і ін.), чиє простягання не завжди співпадає з орієнтуванням тектоносмуг;

5) орієнтування порушень усередині зони малоамплітудної тектоніки найчастіше співпадає з простяганням тектоносмуги – 82 % випадків, відрізняється на $10\dots30^\circ$ - 12 %, займає квазіпоперечне до граничних розривів – 6 % (див. нижче синтетичні й антитетичні зсуви Риделя);

б) не дивлячись на ідентичний структурний малюнок по різних пластах із практично повним проекційним збігом тектоносмуг на погоризонтних планах (тобто крізний характер зон в умовах єдиного поля напружень), тектоносмуги навіть в межах зближених шахтопластів (гірниче відведення шахти ім. газети «Донбас», зближені до 100 м пласти h_8 і h_{10}) мають суттєві відмінності внутрішньої будови, що характеризуються наявністю дрібних порушень поздовжніх до граничних розривів (пласт h_8 , в покрівлі

пласта – пісковик) або квазіпоперечних до останніх (пласт h_{10} , в покрівлі пласта – аргіліт);

7) із збільшенням глибини розробки (зростанням літостатичного тиску) в зонах малоамплітудної тектоніки фіксується тренд зниження вертикальних амплітуд розривів;

8) зони малоамплітудної тектонічної порушеності контролюються деформаційними аномаліями рельєфу вугільних пластів (флексурні перегини, лінійно-зорієнтовані зони змін кутів і азимутів падіння вугленосної товщі, локальні «роздування» або «пережими» – стоншування вугільного пласта);

9) блоки вугленосної товщі, що обмежені регіональними тектонічними розривами у Донецько-Макіївському районі, зазнали повного спектру деформацій, як то паралельного переносу, обертальних рухів, зміни об'ємів та форми (дилатації), в умовах зсувного поля напружень (поле шахти ім. М. Калініна - вісь стиснення σ_1 : $115...125^\circ$ ($295...305^\circ$), вісь розтягування σ_3 : $25...35^\circ$ ($205...215^\circ$), вісь проміжних напружень σ_2 - субвертикальна; поля шахт ім. газети "Донбас" і "Заперевальна" - вісь стиснення σ_1 : $120...130^\circ$ ($300...310^\circ$), вісь розтягування σ_3 : $30...40^\circ$ ($210...220^\circ$), σ_2 - вертикальна; поле шахти Глибока - вісь стиснення σ_1 : $135...145^\circ$ ($315...325^\circ$), вісь розтягування σ_3 : $45...55^\circ$ ($225...235^\circ$), σ_2 - вертикальна);

10) в умовах зсувного поля напружень регіональні розриви Донецько-Макіївського району зазнали розвитку як підкидovo-зсувні форми з переважанням зсувної компоненти зрушення (Першотравневий, Мушкетівській розриви, субширотна ділянка Французького насува) або практично чисті зсувні дислокації - розриви Софіївський (шахта Глибока) і Провіданс.

Вугільним пластам властива природна тріщинуватість (кліваж), що виявляється у вигляді систем відкритих «пустих» або заповнених мінералізацією тріщин та чисельних звивистих, розгалужених, східчастих, струйчастих поверхонь сколювання у вугіллі. Первинна тріщинуватість або ендокліваж (за Г. О. Івановим [12]) утворюється під впливом літостатичного тиску вищезалягаючої товщі гірських порід в процесі регіональних перетворень осадових порід вугленосної товщі (діагенез, катагенез, метаге-

нез), під час яких відбувається молекулярне ущільнення, видалення вологи і скорочення об'єму вугільної речовини. Первинні тріщини, як правило, є нормально січними по відношенню до напластування, а за характером розвитку напружень вони є тріщинами розтягу.

Екзогенний кліваж виникає під дією зовнішніх сил і є одним з важливих показників впливу тектонічних процесів: тут можуть бути присутні різні за кінематикою тектонічні рухи, пов'язані з відносними переміщеннями – ковзаннями бортів тріщин по типу скидів, підкидів або зсувів. Ще в 1939 р., спираючись на численні виміри в гірничих вибоях, Г.О. Іванов [12] встановив, що екзокліваж або тектонічна тріщинуватість у вугленосних відкладах не є безсистемною, а виразно групується в подздовжні і діагональні пояси із переривчастим горизонтальним "рухом мас".

Кліваж розвивається успадковано по первинно закладених ослаблених зонах, по неоднорідних в структурному відношенні ділянках, що призводить до розвитку нових систем тріщин. Первинні ендогенні тріщини часто затушковані вторинними екзогенними. Звичайно збільшення екзогенної тріщинуватості спостерігається поблизу тектонічних порушень та у зв'язку з розподілом елементів тектонічних структур. Часто інтенсивно перем'яченими виявляються пачки вугілля, що прилягають до покрівлі чи подошви вугільного пласта. Саме по тріщинах відбувається міграція вуглеводневих газів і метану, що міститься в вугільних пластах. Кліваж і його параметри (орієнтування тріщин, ступінь їх розкриття), а також кінематичний тип безпосередньо впливають на процеси, що відбуваються в вуглепородному масиві, бо роблять вугільні пласти проникними, служать шляхами міграції флюїдів, зокрема води і газів. Тріщини кліважу мають бути достатньо добре розвинутими, щоб вугільний метан зміг мігрувати до свердловини і бути витягнутим на поверхню у разі дегазації вугільного пласта або промислової розробки газу. Чим більше розкрита і розвинена система кліважу, тим ефективніше дегазація вуглепородного масиву.

Шахта ім. О. Засядька є небезпечною за раптовими викидами вугілля та порід та газодинамічними явищами усіх типів. На сучасному етапі розвитку геологічної структури Донбасу відбу-

вається інтенсивна міграція газових вуглеводнів (переважно метану) з глибин 3 - 5 км [7, 13]. У зоні активного сучасного масо-переносу вуглеводнів знаходиться й особливо небезпечна ділянка за проявами газодинамічних явищ - західне крило гірничого відведення шахти ім. О. Засядька [14]. Саме тут зафіксована більшість з 128 суфлярних виділень з концентрацією метану до 82 % та тривалістю від декількох годин до 5 місяців.

Поле шахти ім. О. Засядька розташоване в східній частині Кальміус-Торецької улоговини (Донецько-Макіївський район), в зоні її зчленування з Ряснянською та Чистяковською синкліналями і належить до тектонічного блоку, обмеженого із заходу Вітківською, зі сходу Чайкінською флексурами, а з півдня – диз'юнктивною системою, що включає Коксовий і Французький насуви.

Простягання вугленосної товщі близьке до субширотного, але у районі Вітківської флексури воно різко змінюється на північно-східне (азимут простягання 40-50 °).

Кути падіння порід на виходах пластів і в районі флексурної складки сягають 30-40°, зменшуючись уздовж занурення в північному і східному напрямках до 5-10°. Геологічною зйомкою встановлено продовження Вітківської флексури в донній частині Кальміус-Торецької улоговини, так що її протяжність складає 25 км. Вітківську флексуру ускладнено серією насувів, серед яких виділяється Пантелеймонівський насув та серія переривчасто розташованих один щодо одного Вітківських насувів, субпаралельних Пантелеймонівському.

Попередніми дослідженнями [14] встановлено, що сучасні тектонічні елементи структури шахтного поля, включно граничні плікативні та диз'юнктивні порушення, зазнали суттєвого впливу зсувного поля напружень з субгоризонтальним розташуванням осей головних нормальних напружень стиснення σ_1 (північний захід) і розтягування σ_3 (північний схід) та субвертикальним положенням осі проміжних напружень σ_2 .

Наведений на рисунку 1 геологічний розріз демонструє, що фактично Вітківська, Чайкінська й Калинівська флексури та супроводжуючі їх насуви виникли як типові лускуваті структури стиснення (насувні дуплекси), що відгалузилися від площини Французького насуву на глибоких горизонтах (3,5-4,5 км) надро-

зломної структури Донецько-Кадіївського поперечного глибинного розлому.

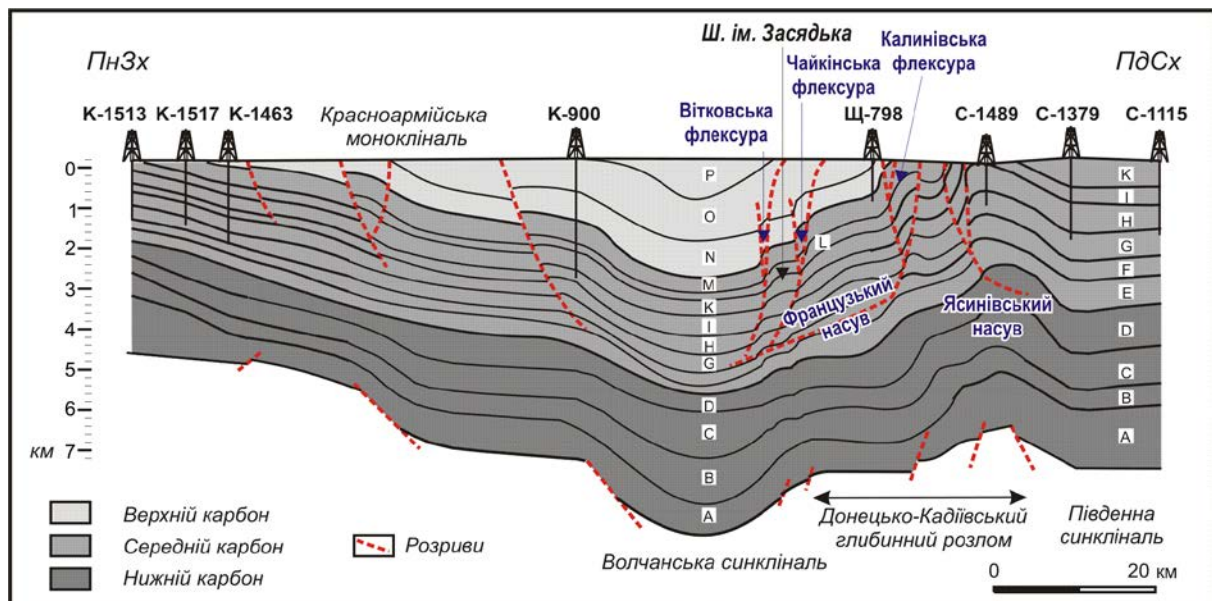


Рис. 1. Геологічний розріз вздовж профілю, що перетинає район досліджень - гірниче відведення шахти ім. О. Засядька (за матеріалами [15])

Дуплекси стиску є звичайним явищем в покривних поясах складчастих споруд та простежуються як системи черепитчато перекриваючих одна одну поверхонь зриву, які супроводжуються флексурними перегинами, а на глибоких горизонтах зливаються з основним насувом. У нашому випадку в якості основної площини насування виступає лістрична площина зміщувачу Французького насуву. У вузлі перетину субширотної Південної антикліналі з субмеридіональними Калинівською і Чайкінською флексурами утворилися Калинівський і Чайкінський куполи. У зоні впливу Ясинівсько-Ждановської флексури субширотне простягання порід Зуєвського куполу (коробчастої складки з пологою склепінною частиною і крутими кутами падіння) порушується, приймаючи дугоподібний характер вигину в південно-західному напрямі. Далі до північного заходу підняття по вапняку M_8 фіксується сідловиною між Калинівською синкліналлю на півночі і Макіївською мульдою на півдні.

Отже Французький насув і зворотній Ясинівський насув у межах Ясинівсько-Ждановської флексури (де через велику крутизну розвідувальні свердловини перетинають однойменні верстви до 3-5 разів) утворюють так звану «трикутну зону» («*triangle zone*» [16]) над Донецько-Кадіївським глибинним розломом. Саме тут зафіксовано різкий стрибок потужності еродованих у результаті інверсійних процесів кам'яновугільних відкладів - амплітуди інверсії від 4 км [15], що зростає у східному напрямку. Як відомо флексури, що виникають у результаті штампових зусиль або поперечного вигину характеризуються зменшенням потужності відкладів у змикаючому крилі. Судячи з того, що товщини відкладів в змикаючих крилах не зменшуються, а лишаються однаковими з положистими крилами усі ці флексури було сформовано у результаті складчастості повздожнього вигину [6].

Шахта ім. О. Засядька відноситься до категорії небезпечних по раптових викидах вугілля і газу, суфлярним виділенням метану, вибуховості вугільного пилу. З глибини 600 м до викидонебезпечних віднесені й шари пісковиків.

У теперішній час на шахті розробляються пласти m_3 та l_4 на глибинах 1220–1420 м, відпрацювання пластів k_8 , l_1 , призупинено. Абсолютна газоносність шахти 226,8 м³/хв., відносна - 72,8 м³ на тону добового вуглевидобутку. Для управління газовиділенням на шахті ведуться роботи щодо дегазації через мережу підземних і поверхневих свердловин.

При відробітку пластів застосовується штучна дегазація порід і пластів-супутників, що залягають в покрівлі пласта m_3 до прошарку m_4^0 і в покрівлі l_8^1 до супутника m_1 .

Обсяги метану, витягнуті з окремих лав в стабільні роки роботи, складають від 0,01 до 2,20 млн. м³. В середньому ефективність дегазації по шахті складає 35–40 %, а обсяги витягнутого метану – від 24,9 до 40,0 млн. м³, зокрема системою дегазації – від 4,3 до 14,6 млн. м³. Із-за низької концентрації метану (в середньому 20%) газ не використовується, а викидається в атмосферу.

Пласт m_3 –це основний пласт, що у розробітку. Пласт має двохпачкову будову: середня товщина верхньої пачки становить 0,18 м; нижньої - 1,7 м; товщина прошарку - 0,08 м. Розділюючий вугільні пачки прошарок представлено дрібнозернистим, достат-

ньо компетентним пісковиком, котрий міцно пов'язаний з вугіллям. Верхня пачка пласта і верхня частина нижньої вугільної пачки містить значну кількість прошарків і лінз аргілітів, крем'янистих та піритизованих лінз.

Безпосередньо над пластом m_3 залягає аргіліт темно-сірого кольору, горизонтально-шаруватий, з великою кількістю прошарків і лінз сидерито- крем'янистого складу. У подошві m_3 залягає переважно алевроліт, що переходить на південному сході у аргіліт.

В сімдесятих роках двадцятого сторіччя при відпрацюванні західним крилом шахти пласта m_3 в зоні впливу Вітківської флексури в 1-й, 2-й і 3-й західних лавах з глибини 400-500 м почали спостерігатися суфляри. З поглибленням гірничих робіт більш спокійні суфлярні газовиділення стали приймати вид катастрофічних проривів і раптових викидів вугілля, породи і газу. Так на глибині близько 950 м під час вуглевидобутку пласта m_3 в зоні апікальної частини флексурного перегину, ускладненого Вітківським насувом № 4 в 9-му західному вентиляційному штреку у 1982 році стався один з найбільших раптових викидів вугілля (75 т подрібненої вугільної маси) та газу (2500 м³ метану).

У подальшому значні проблеми з точки зору безпеки праці та умов ініціювання газодинамічних явищ виникли в 12-й, 13-й, 14-й, 15-й, 16-й та 17-й західних лавах, а у теперішній час під час вуглевидобутку в 18-й західній лаві пласта m_3 .

У попередніх публікаціях [17, 14] встановлено суттєву роль в розвитку малоамплітудної тектоніки Донецько-Макіївського району діагонально перетинаючої основні складчасті структури району правозсувної зони дислокацій північно-східного простягання (240°...265°), котра виникла під час альпійського тектонічного циклу. У контурі цієї зони розвинуті малоамплітудні порушення та зони екзокліважу, що кінематично виражені як праві та ліві сполучені зсуви Риделя, тріщини відриву та характерні структури локального стиснення – насувні дуплекси. Аналіз тектонічної порушенності в межах гірничого відведення шахти ім. О. Засядька по пластах l_1, k_8 [14] показав закономірне угруповання малоамплітудних дислокацій в тектонічні зони (тектоносмуги) зсувного генезису. Широко розвинені зони, паралельні ре-

гіональній зсувній зоні Донецько-Макіївського району (праві Y зсуви).

На рисунку 2 наведено тектонічну модель пласта m_3 , що побудована з використанням геоінформаційних технологій. Саме ця модель фіксує просторовий розподіл зон тектонічної порушеності та їх кінематичний тип (тріщини сколювання Y , R_1 , R_2 , P типів, насуви C , відривна тріщинуватість T і плікативні дислокації, зокрема флексури F) в умовах розвитку зсувного поля напружень.

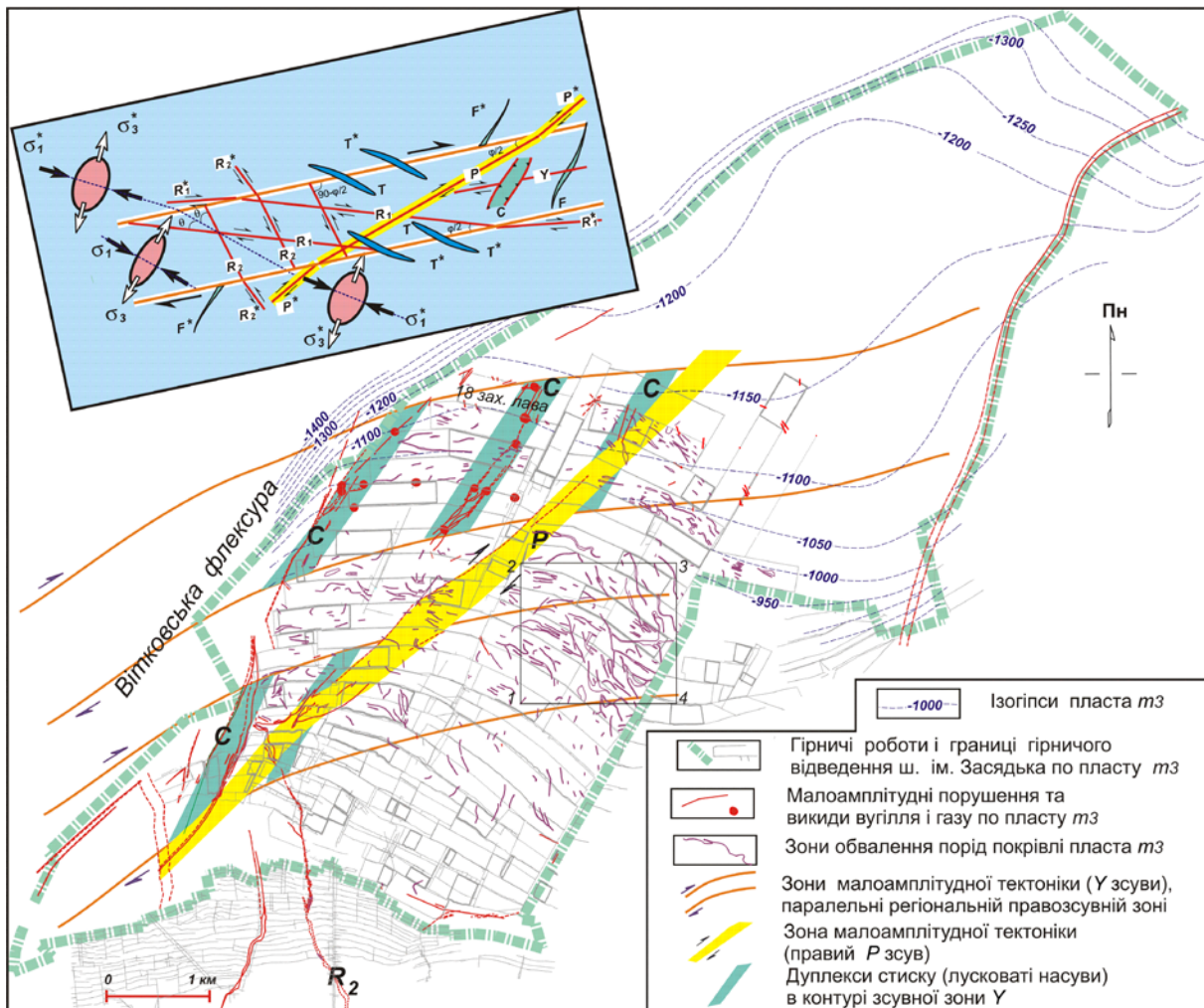


Рис. 2. Модель тектонічної порушеності вугільного пласта m_3 та просторового розподілу викидів вугілля та газу у межах гірничого відведення ш. ім. О. Засядька

На врізанні рисунку 2 показана деталізація механізму формування малоамплітудних тектонічних порушень в контурі зсув-

ної зони (зсуви R_1, R_2, P , насуви C , тріщини відриву T , плікативні дислокації - локальні складки F) і в межах її периферійної частини (зсуви R_1^*, R_2^*, P^* , насуви C^* , тріщини відриву T^* , флексури F^*).

У тектонічному режимі зсуву (горизонтальне положення головної кінематичної площини σ_1 - σ_3) у контурі й периферії зсувної зони утворюється складний комплекс структур (див. врізання на рис. 2), що включає:

а) паралельні основній зоні зрушення Y зсуви мінливого простягання ($240^\circ \dots 265^\circ$);

б) спряжені зсуви Риделя – синтетичні R_1 та антитетичні R_2 північно-західного орієнтування, які формуються під кутом $\pm\theta$ симетрично щодо напрямку скорочення - осі стиснення σ_1 : $110 \dots 130^\circ$ ($290 \dots 310^\circ$);

в) вторинні синтетичні P - зсуви північно-східного орієнтування, які розташовуються симетрично R_1 зсувам відносно до перпендикуляру до осі зсувної зони (тобто тріщини сколювання R_1 та P складають з основною Y зоною зсування кут $\pm\varphi/2$, де φ - кут внутрішнього тертя);

г) скиди й тріщини розтягання T , що формуються перпендикулярно до осі подовження - осі розтягання σ_3 : $20 \dots 40^\circ$ ($200 \dots 220^\circ$) з характерними для зон правого зсування слабкими Z-образними вигинами.

Тріщини сколювання R_1 і R_2 складають з основною зоною зсуву кути $\varphi/2$ та $90^\circ - \varphi/2$ відповідно, де φ - кут внутрішнього тертя.

Тріщини відриву T ділять навпіл кут між R_1 і R_2 й орієнтовані паралельно до напрямку стиснення σ_1 та перпендикулярні до напрямку розтягування σ_3 .

Деталізацію зон обвалювання покрівлі та їх тектонічну інтерпретацію в межах прямокутника 1234 надано на рисунку 3.

У контурі тектоносмуг зсувного генезису (азимут простягання $240^\circ \dots 265^\circ$) структурно групуються паралельні Вітковській флексурі (азимут простягання $20^\circ \dots 40^\circ$) області розвитку дуплексів стиснення C , тобто насувних лускових пластин, що практично зникають або виполаживаються поза межами пластів вугілля. Отже переривчасті Вітковські насуви (Вітковський насув № 1: азимут падіння 286° , кут падіння $13 \dots 60^\circ$, амплітуда

2...14 м; Вітковський насув № 3: азимут падіння 320° , кут падіння $33...60^\circ$, амплітуда 10...90 м; Вітковський № 4 з елементами: азимут падіння $305...318^\circ$, кут падіння $20...55^\circ$, амплітуда 9...32 м) логічно вписуються як локальні структури стиску в контури дискретних тектоносмуг (див. рис. 2).

Отримані результати щодо просторового розподілу раптових викидів вугілля та газу в межах гірничого відведення шахти ім. О. Засядька дозволяють стверджувати, що переважна більшість газодинамічних явищ у гірничих вибоях просторово тяжіє до ділянок розповсюдження насувних дуплексів у межах зсувних зон.

Саме до цих ділянок, у межах яких за рахунок пластичного перетоку вугілля і характерного перекриття лусок зміщувачів, що практично зникають або виполаживаються поза межами пластів вугілля, приурочені локальні «роздування» товщини вугільного пласта.

Дуплекси стиснення виникають за рахунок локальної зміни положення осі розтягування з субгоризонтальної на субвертикальну σ_3^{loc} при збереженні субгоризонтального положення осі стиснення σ_1 (рис. 3), в умовах коли відносно в'язко-пластичний пласт вугілля обмежено принципово відмінними за реологічними властивостями верствами вуглевмісних порід з переважно жорсткими та пружними зв'язками між зернами мінералів.

Локалізація дуплексів стиснення у вугільних пластах суттєво впливає на формування передумов для проявів газодинамічних явищ у копальнях Донбасу, бо ці структури призводять до локального накопичення енергії пружних деформацій у вміщуючих породах на ділянках «загасання» зміщувачів в підшві і покрівлі вугільних пластів, ініціюють формування систем внутрішньопластового тонкопластинчатого екзокліважу (рис. 3), паралельного нашаруванню, а також служать бар'єрами-накопичувачами на шляху міграції газоподібних вуглеводнів з глибоких горизонтів.

У околиці дуплексів стиснення (рис. 3) за рахунок локальної зміни положення осі розтягування з субгоризонтальної на субвертикальну σ_3^{loc} при збереженні субгоризонтального положення осі стиснення σ_1 (локальне підкидове поле напружень) формуються

системи тріщин внутрішньопластового, паралельного нашаруванню екзокліважу.

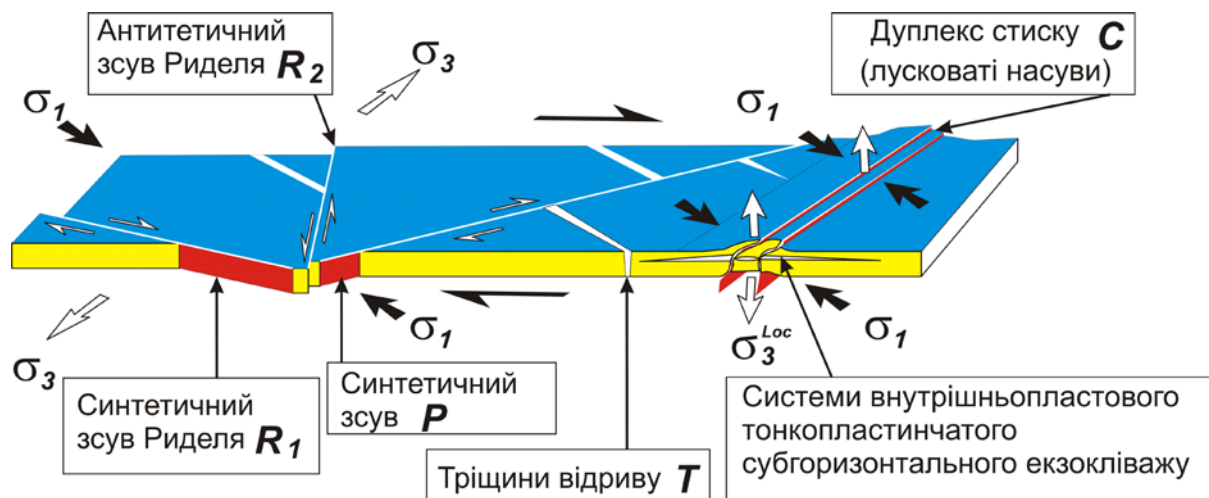


Рис. 3. Розвиток систем сколювальної і відривної тріщинуватості в межах правозсувної зони (регіональне зсувне поле напружень: субгоризонтальне положення осі стиснення σ_1 і розтягування σ_3)

Газ, що утворився в результаті крекінгу рідких вуглеводнів, високовуглецевих сполук газових вуглеводнів (тобто на межі переходу із області нафто-газового вікна до області газового вікна [3]), накопичується в сорбованому стані в мікропористій структурі вугілля, а в зонах тектонічних порушень він також концентрується у вільному стані у відкритому просторі кліважних тріщин вугільних пластів або вміщуючих породах. Евакуації газу з викидонебезпечної зони об'єктивно перешкоджають вага вищезалягаючих порід (літостатичне навантаження) і сучасні горизонтальні тектонічні напруження.

У цьому сенсі дуже важливі спостереження, що доводять, що поодинокі та незначні за рівнем мікропрояви газодинамічних явищ, які виникають у гірничих вибоях, не мають чіткої кореляції з геологічною структурою та системами тектонічної тріщинуватості, в той час як мезо- та мегапрояви цих небезпечних явищ локалізовано уздовж зон розривних та складчастих порушень з певними напрямками розвитку тріщин та малоамплітудних тектонічних порушень.

Практично діагонально (азимут простягання $40^\circ \dots 55^\circ$) шахтне поле розтинає крізна тектоносмуга, що є синтетичним P зсувом, правостороннє зміщення по якому фіксується за характерними флексуроподібними вигинами ізогіпс, побудованими з урахуванням даних уточнених відміток підошви вугільних пластів згідно з даними гірничо-експлуатаційних робіт. Із зростанням глибини розробки ця тектоносмуга, що є зоною концентрованого розвитку мікроамплітудних розривів (амплітуда $0,01 \dots 0,55$ м) із струйчатими поверхнями ковзання, характеризується проявом все більш складних газодинамічних явищ.

Підживлення цієї зони метаном відбувається по системах первинно діагенетичних, нормально-січних тріщин ендегенного кліважу, збільшення розкриття яких відбувається за рахунок розвитку по площинах останніх (в умовах зсувного поля напружень) відривної тріщинуватості T , формуванню якої сприяє виняткова крихкість вугілля середнього ступеня вуглефікації.

Крім того було додатково геометризовано зони обвалювання порід покрівлі (рис. 4), у розподілі яких суттєву роль грають тріщини екзокліважу, котрі розвинуті у породах покрівлі. Отже геометрично зони обвалювання порід покрівлі успадковують положення антитетичних зсувів Риделя R_2 та тріщин розтягу T та впливають на локалізацію проявів аномальних газоприпливів під час вуглевидобутку.

На рисунку 4 наведено деталізацію зон обвалювання покрівлі (а) в межах прямокутнику 1234 (8-а, 9-а, 10-а, 11-а, 12-а, 13-а східні лави пласта m_3) та їх інтерпретацію як тріщин сколювання R_2 та відривної тріщинуватості T (б) в рамках тектонічної моделі розвитку цих структур у контурі зсувної зони (в), що виникла в умовах зсувного поля напружень з субгоризонтальними стисненням σ_1 : 123° (303°) та розтягуванням σ_3 : 33° (213°) при субвертикальному положенні вісі проміжних напружень σ_2 .

Зсуви R_2 складають з основною зоною зсування кут $90^\circ - \varphi/2$, тріщини відриву складають з основною зоною зсування кут $45^\circ - \varphi/4$, де φ - кут внутрішнього тертя.

Приймаючи до уваги вагому різницю в кутах внутрішнього тертя φ [18, 19] для аргілітів в покрівлі вугільного пласта ($\varphi = 28 \dots 32^\circ$) та самого вугілля ($\varphi = 40 \dots 48^\circ$), слід зазначити деяку

розбіжність простягань тектонічних елементів R_2 та T в покрівлі вугільного пласта та власне в вугільному пласті.

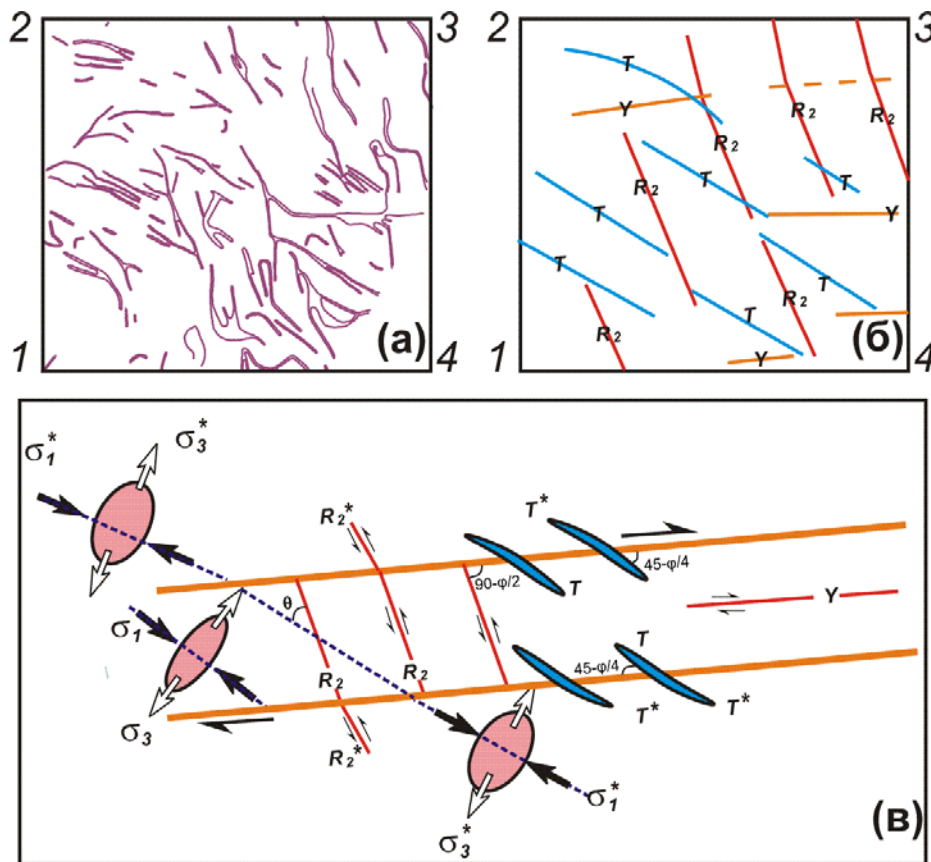


Рис. 4. Деталізація зон обвалювання покрівлі пласту m_3 гірничого відведення ш. ім. О. Засядька (а) в межах прямокутника 1234 (див. рис. 2)

З точки зору кінематики процесу слід зазначити, що в умовах зсувних дислокацій с попереднім розвитком тріщин кліважу, що успадковують зсуви Риделя (рис. 5, а) виникають локальні перегрупування кластерів (елементарних об'ємів гірського масиву, що утворюються на перетині систем кліважних тріщин).

Серед можливих сценаріїв перегрупування нерівномірне (східчасто - кулісоподібне) розкриття тріщин з характерним збільшенням ступеня розкриття тріщин, що успадковують зсуви R_2 , за рахунок обертання кластерів та розвиток тріщин розтягу T , розташованих перпендикулярно по відношенню до вектору розтягуючих зусиль (рис. 5, б).

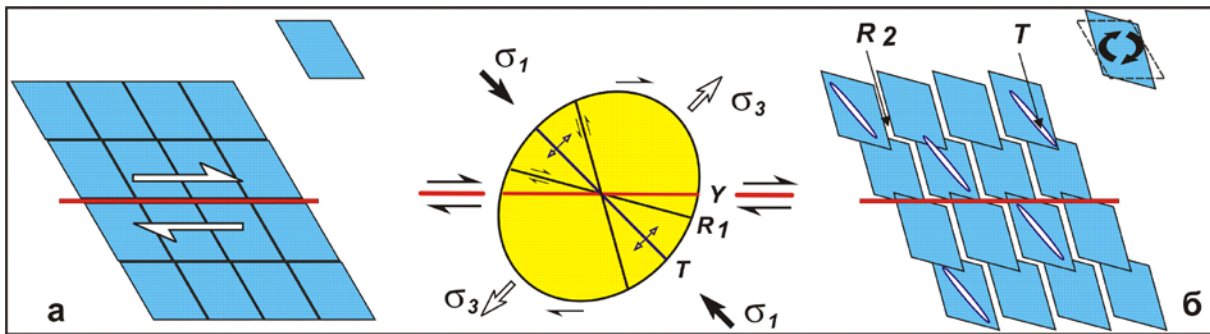


Рис. 5. Розкриття тріщин кліважу (а) за рахунок обертання кластерів (б) при розрядці напружень по типу зсувних дислокацій в околиці розривного порушення, що відбуваються в режимі правого зсуву

На рисунку 6 наведено викопіювання з плану гірничих робіт пласта m_3 , що відбиває деталі тектонічної ситуації, осередків газодинамічних явищ та розподілу ізопакіт (однакової товщини пласта) під час вуглевидобутку в 18-й західній лаві пласта m_3 .

Слід зазначити, що саме в цій лаві відбулося ускладнення гірничо-геологічних умов видобутку вугілля включно ініціювання умов для викидів вугілля і газу при проходці конвеєрного і вентиляційного штреків за рахунок перетину зони лускуватих сигмоїдальних у розрізі насувів (дуплексів стиску S), що отримали розвиток у контурі правозсувної зони Y . У межах цієї зони розвинуті малоамплітудні порушення та зони екзокліважу, що кінематично виражені як праві та ліві сполучені зсуви Риделя, тріщини відриву та характерні структури локального стиснення – насувні дуплекси.

Локалізація дуплексів стиснення у вугільних пластах суттєво впливає на формування передумов для проявів газодинамічних явищ у копальнях Донбасу, бо ці структури призводять до локального накопичення енергії пружних деформацій у вміщуючих породах на ділянках «загасання» зміщувачів в підшві і покрівлі вугільних пластів, ініціюють формування систем внутрішньопластового тонкопластинчатого екзокліважу, паралельного нашаруванню, а також служать бар'єрами-накопичувачами на шляху міграції газових вуглеводнів з глибоких горизонтів.

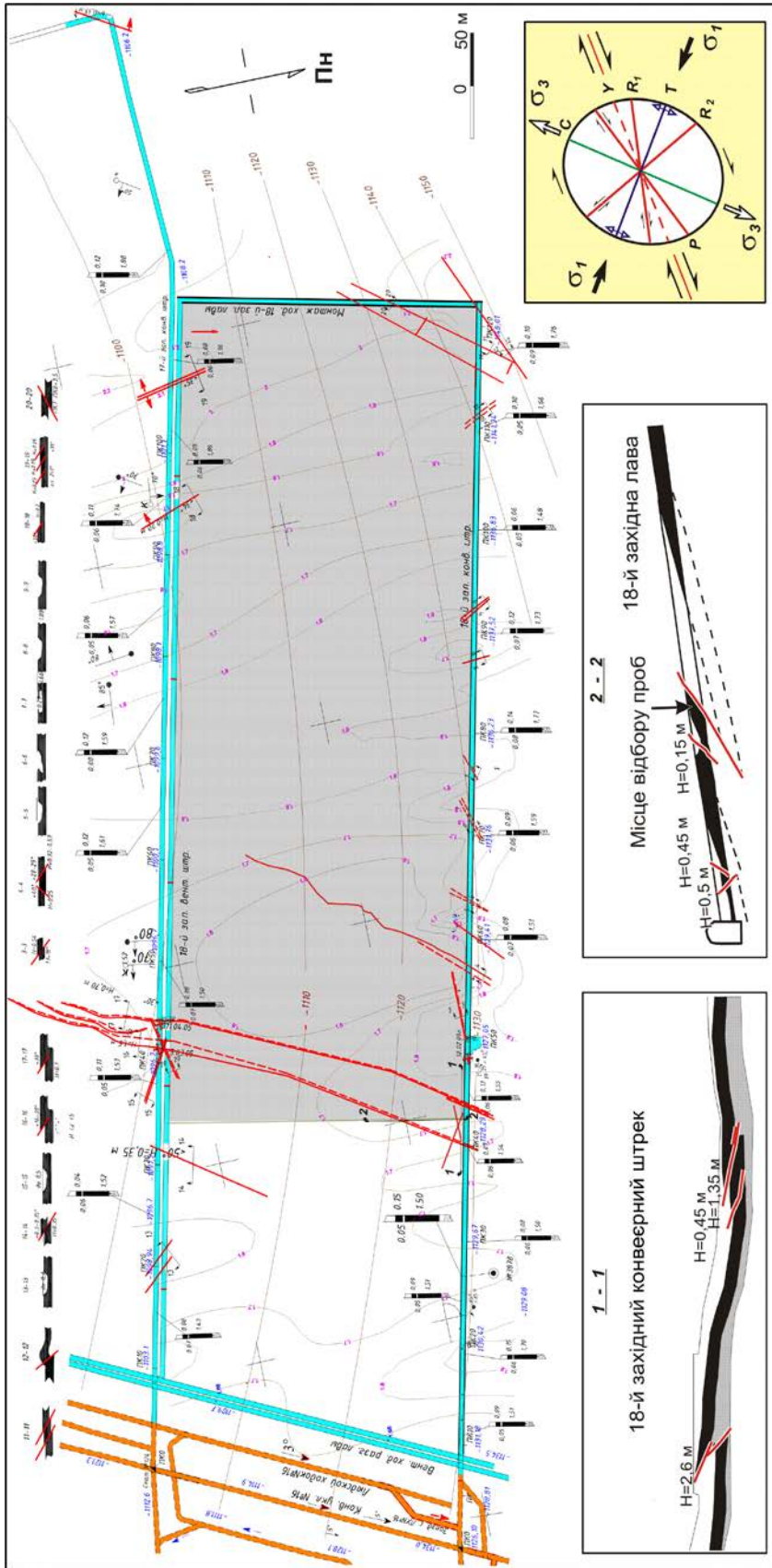


Рис. 6. Викопіювання з плану гірничих робіт пласта m_3 , що відбиває деталі тектонічної ситуації, осередків газодинамічних явищ та розподілу ізопахіт у в 18-й західній лаві пласта m_3 . Деталь демонструє просторове положення основних типів малоамплітудних порушень, тріщин екзокліважу, що виникли в результаті зсувного поля напружень з субгоризонтальним розташуванням осей головних нормальних напружень стиснення σ_1 : 125° (305°) і розтягування σ_3 : 35° (215°) та субвертикальним положенням осі проміжних напружень σ_2

Газодинамічні явища виникають внаслідок різкої зміни напруженого стану вугільного пласта під час вуглевидобутку і супроводжується частковим або повним розпадом вугілля та бурхливим виділенням газу. Газодинамічні явища відбуваються з певних глибин, що доводить суттєву роль вертикальної складової гірського тиску, певний поріг якого перешкоджає природній дегазації вугленосного масиву і, разом з іншими геологічними чинниками, сприяє концентрації газових скупчень.

Модель розвитку дуплексів стиску C за рахунок відмінностей в реологічних характеристиках відносно пластичного вугілля і більш крихких вміщуючих порід наведено на рис. 3 та є прикладом класичної схеми «*progressive easy slip thrusting*» [20], тобто поступового відносно легкого утворення насувів у вугленосних відкладах, у розвитку якого суттєву роль грає механізм виникнення надлишкового флюїдного тиску у вугіллі [21], що виникає під час його ді- та катагенетичних перетворень.

За даними наших спостережень у гірничих виробках шахти ім. О. Засядька екзокліваж у морфологічному сенсі являє собою тріщини з характерними тонкими штрихами, борозенками і валами, що часто сходяться під гострим кутом до напластування, іноді по напластуванню, рідко з вертикальними відгалуженнями. У відібраних у 18-й західній лаві пласта m_3 , зразках вугілля мікротріщини розвинуті у двох-трьох напрямках, що співпадають з орієнтацією малоамплітудних тектонічних порушень, тобто існує система закономірно розвинутих тріщин, що утворюють паралельні та призматичні окремість. Особливої уваги заслуговують тріщини приблизно паралельні нашаруванню, що були задокументовані безпосередньо в околі розповсюдження окремих поверхонь насувів у 18-й західній лаві пласта m_3 , та були також дослідженні при вивченні мікрофотографій відібраних зразків вугілля (рис. 7). При наближенні до мікронасувів ці тріщини займають положення під кутом $65...90^\circ$ до площин насувних дислокацій. З нашої точки зору саме ці тріщини кліважу та накопичений у них метан сприяють формуванню передумов викидонебезпечності на дослідженій ділянці і в цілому у межах шахтного поля.

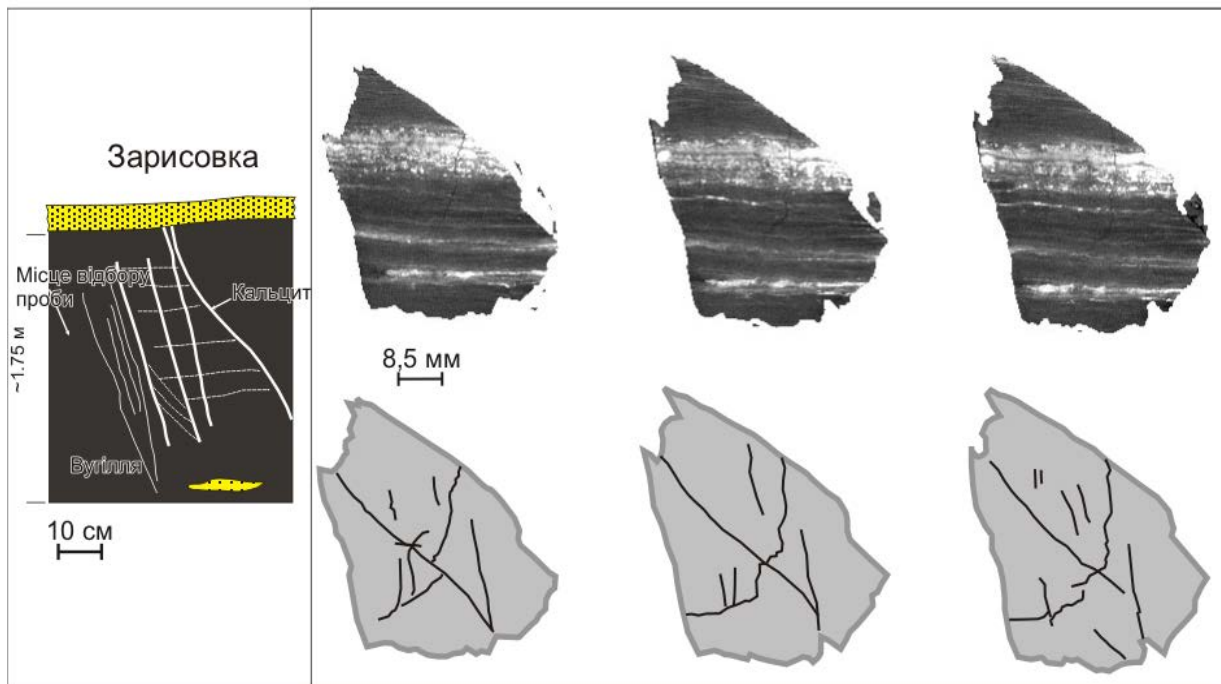


Рис. 7. Мікрофотографії зрізів зразка вугілля (18-а західна лава пласта m_3) та інтерпретація тріщинуватості

Попередніми дослідженнями [22] встановлено, що вугілля пласта m_3 у межах викидонебезпечних ділянок шахти ім. О. Засядька за результатами вимірів температури максимальної генерації латентних вуглеводнів T_{\max} та показника відбиття вітриніту R_o вийшли з поля нафто-газового вікна ($420-428\text{ }^\circ\text{C} < T_{\max} < 444-452\text{ }^\circ\text{C}$; $0,5-0,6\ \% < R_o < 0,8-0,9\ \%$) в поле газового вікна ($T_{\max} > 444-452\text{ }^\circ\text{C}$; $R_o > 0,8-0,9\ \%$). Отже у області нафто-газового вікна мікротріщини у вугільній масі ще містили плівки сорбованих бітумінозних компонентів (рідких вуглеводнів), що протидіяли накопиченню енергії пружних деформацій і локалізації газового скупчення. Крім того, у якісному плані перехід з області нафто-газового вікна в газове вікно (у зв'язку з підвищенням формаційних температур) призводить не тільки до видалення із тріщин високовуглецевих рідких сполук, але й до різкого збільшення обсягу генерованих вуглеводневих газів, головним чином за рахунок термokatалітичного крекінгу бітумінозних компонентів. Таким чином, виникнення тріщин субпаралельних до напластування в близькості до поверхонь насувів могло бути пов'язано не тільки з реологічними відмінностями речовини ву-

гілля і вміщуючих порід, але з ефектом надлишкового флюїдного тиску (гідравлічного розриву) у вугіллі під час розкладання рідких вуглеводнів на межі переходу із нафто-газового до власне газового вікна.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Брижанев, А.М. Закономерности размещения метана в Донецком бассейне [Текст] / А.М. Брижанев, Р.А. Галазов // Обз. инф. ЦНИЭИуголь. - 1987. - № 6. - С. 1 - 48.
2. Радзівіл, А.Я. Напрямки пошуків вуглегазових родовищ в Україні / А.Я. Радзівіл // Наукові праці Інституту фундаментальних досліджень Української наукової асоціації. - 1999. - С. 185 - 188.
3. Привалов, В.А. Метан в угленосной толще Донбасса: геологические аспекты генерации, миграции и условия сохранности / В.А. Привалов // Геологія і геохімія горючих копалин. - 2002. - № 2. - С. 65 - 83.
4. Газоносность угольных месторождений Донбасса [Текст] / А.В. Анциферов, М.Г. Тиркель, М.Т. Хохлов, В.А. Привалов и др.; под общ. ред. Н.Я. Азарова. - К.: Наук. думка, 2004. - 230 с.
5. Sachsenhofer, R. F. Basin evolution and coal geology of the Donets Basin (Ukraine, Russia); an overview [Text] / R. F. Sachsenhofer, V. A. Privalov, E. A. Panova // International Journal of Coal Geology . - 2012. - Vol. 89. - P. 26 - 40.
6. Привалов, В. А. Закономерности распространения и эволюции тектонической нарушенности в Донецко-Макеевском районе Донбасса [Текст] / В. А. Привалов // Изв. высш. уч. зав.: Геология и разведка. - 1990. - № 3. - С. 46 - 55.
7. Alsaab, D. Distribution of thermogenic methane in Carboniferous coal seams of the Donets Basin (Ukraine): "applications to exploitation of methane and forecast of mining hazards" [Text] / D. Alsaab, M. Elie, A. Izart, R.F. Sachsenhofer, V.A. Privalov, D. Suarez-Ruiz, E.A. Panova // International Journal of Coal Geology. - 2009. - Vol. 78. - No. 1. - P. 27 - 37.

8. Геологические факторы выбросоопасности пород Донбасса [Текст] / В.Е. Забигайло, А.З. Широков и др. – К.: Наук. думка, 1974. – 270 с.
9. Прогноз выбросоопасности угольных пластов и пород при разведке и доразведке месторождений [Текст] / А.Е. Ольховиченко, Б.И. Иванов, Ю.П. Зубарев, Р.А. Галазов и др. – К.: Техника, 1988. – 128 с.
10. Попов, В.С. Мелкоамплитудные тектонические нарушения в угольных пластах Донецко-Макеевского района нарушений [Текст] / В.С. Попов // Геологический журнал. – 1979. – № 6. – С. 19 – 31.
11. Привалов, В.А. Закономерности развития малоамплитудной тектонической нарушенности угольных пластов и ее прогнозирование (на примере Донецко-Макеевского района Донбасса) [Текст] / В.А. Привалов // Автореф. дис... канд. геол. - мин. наук. – Ленинград: ВСЕГЕИ. – 1987. – 23 с.
12. Иванов, Г.А. Кливаж (отдельности) в углях и вмещающих породах и пути его практического использования [Текст] / Г.А. Иванов // Труды ЦНИГРИ. – 1939. – Вып. 110. – 106 с.
13. Privalov, V. A. Zasyadko coal mine (Donbas): the relationship between tectonics and coal-and-gas outburst localization [Text] / V.A. Privalov, O. A Panova, A. Izart, R.F. Sachsenhofer // Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften (GeoDarmstadt 2010. 8th European Coal Conference. October 10-13, 2010). – 2010. – Heft. 68. – P. 446 – 460.
14. Привалов, В.А. Малоамплитудная тектоника поля шахты им. А.Ф. Засядько в связи с локализацией газодинамических явлений [Текст] / В.А. Привалов, Р.Ф. Саксенхофер, Е.А. Панова, Н.А. Дьяченко, В.А. Анциферов // Наукові праці ДонНТУ, Труды міжнародної конференції, присвяченої 90-річчю ДонНТУ. – 2011. – № 15 (192). – С. 162 – 172.
15. Привалов, В.А. Тепловые потоки в геологической истории Донбасса: результаты моделирования [Текст] / В.А. Привалов, Р.Ф. Саксенхофер, Н.В. Жикаляк, М.А. Писковой, Е.А. Панова // Наукові праці ДонНТУ: Серія гірн. - геол. – 2001. – Вип. 32. – С. 14 – 21.

16. Couzens-Schultz, B.A. Duplex style and triangle zone formation: insights from physical modeling [Text] / B.A. Couzens-Schultz, B.C. Vendeville, D.V. Wiltschko // *Journal of Structural Geology*. – 2003. – Vol. 25. – P. 1623 – 1644.
17. Привалов, В.А. Тектонические фазы в Донецком бассейне: пространственно-временная локализация и характер проявления [Текст] / В.А. Привалов, Е.А. Панова, Н.Я. Азаров // *Геологія і геохімія горючих копалин*. – 1998. – № 4. – С. 11 – 18.
18. Барон, Л.И. Характеристики трения горных пород [Текст] / Л.И. Барон. – М.: Наука, 1967. – 207 с.
19. Зберовский, В.В. Учет внутреннего и внешнего трения угля при расчете параметров гидроимпульсного воздействия [Текст] / В.В. Зберовский, Ю.А. Костандов, Л.Я. Локшина // *Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр.* – Днепропетровск: ИГТМ НАНУ. – 2011. – № 94 – С. 162 – 172.
20. Hathaway, T.M. Variations in the style of thrust faulting in the South Wales coalfield and mechanisms of thrust development [Text] / T.M. Hathaway, R.A. Gayer // *Proceedings of the Ussher Society*. – 1994. – 8 – P. 279 – 284.
21. Gayer, R.A. The role of fluids in the evolution of the South Wales Coalfield foreland basin [Text] / R.A. Gayer, J. Cole, K. Frodsham, A.J. Hartley, B. Hillier, M. Miliorizos, S.C. White // *Proceedings of the Ussher Society*. – 1991. – 7. – P. 380 – 384.
22. Привалов, В.А. Генетическая идентификация метана и геологическая природа выбросоопасности угольных пластов Донбасса [Текст] / В.А. Привалов, Р. Саксенхофер, А. Изар // *Наук. праці ДонНТУ : Серія гірн. – геолог.* – 2004. – Вип. 72. – С. 175 – 184.