

К. А. БЕЗРУЧКО*, Н. О. Д'ЯЧЕНКО

Інститут геотехнічної механіки ім. М. С. Полякова Національної академії наук України, вул. Сімферопольська, 2-а, Дніпро, 49005, Україна, тел. +38(067)5652246*/факс +38(056)7462426, e-mail: gvrvg@meta.ua*, natalidyachenko1969@gmail.com

<https://doi.org/https://doi.org/10.23939/jgd2020.02.066>

СТРУКТУРНО-КІНЕМАТИЧНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ РОЗВИТКУ ЗСУВНИХ ДИСЛОКАЦІЙ ТА ЇХ ВПЛИВ НА ЛОКАЛІЗАЦІЮ ГАЗОДИНАМІЧНИХ ЯВИЩ НА ПРИКЛАДІ КРАСНОАРМІЙСЬКОЇ МОНОКЛІНАЛІ ДОНБАСУ

Мета. Мета роботи – реконструкція геодинамічного розвитку зсувної дислокаційної зони (зсувних полів напружень) Красноармійської моноклінали (КМ) Донбасу (Східна Україна) та виявлення закономірностей її впливу на виникнення газодинамічних явищ (ГДЯ) у вугільних відкладах. **Методика.** Для аналізу структурно-геологічної інформації застосовано методи цифрової геологічної картографії, гірничо-геометричного моделювання, геолого-структурного аналізу та структурно-геоморфологічного реконструювання. Використано комплекс методів статистичного опрацювання даних про тектонічну порушеність – оцінювання частоти зустрічі азимутних орієнтувань методом роз-діаграм. Застосовано прийоми морфотектонічного аналізу вугільного пласта (математичний прийом виділення градієнтних структур). **Результати.** Запропоновано тектонічну модель формування пул-апатів у режимі транстенсії на теренах КМ (на прикладі шахти “Добропільська”), що зумовлює прояви ГДЯ (зокрема “мокрі суфляри”) у вигляді малих улоговин просідання у зонах кулісного перекриття зсувів. Останні сформовано під дією зсувного поля тектонічних напружень (вісь укорочення простору (σ_1) внаслідок горизонтального зсуву орієнтована за азимутом 160–170° (340–350°), вісь подовження (σ_3) – 70–80° (250–260°). Поєднання облямовувальних Y та T розривів в умовах транстенсії, швидше за все, забезпечує газопроникність та водопроникність зони. Досліджено структурно-кінематичні закономірності формування та розвитку зсувних дислокацій КМ Донбасу. **Наукова новизна.** Вперше на основі розробленої цифрової моделі фактичної тектонічної порушеності масиву гірських порід на прикладі групи гірничих відведень шахт КМ досліджено структурно-кінематичні закономірності формування та розвитку зсувних дислокацій Красноармійського району Донбасу та їх вплив на формування зон ГДЯ. Вперше встановлено, що: а) субпаралельні диз’юнктиви ПнС орієнтування (15–30°) незалежно від морфології слугують межами паралелограмо-подібних блоків, утворюючи або лускаті пакети, або пакети скидних уступів (залежно від морфології розриву), обмежені за простяганням скидовими зміщувачами Пн-ПнС та ПдЗ падіння; у разі лускатих пакетів в орієнтуванні падіння зміщувачів домінує С-ПдС напрямом, розриви, що обмежують скидні уступи, характеризуються зустрічним ЗПн напрямом падіння; б) розриви ПдС орієнтування морфологічно представлені зсуво-насувами, з глибиною змінюють не тільки кут падіння з 35° до 85°, але й азимут простягання (з 20–25° до 50°), утворюючи в плані віялове оперення основного розриву; в) розриви різної морфології представлені не поодиноким зміщувачем, а серією порушень на всіх стратиграфічних горизонтах, які формують зону розривоутворення - вертикальну “тектоносмугу”; г) у ПнС частині шахти “Піонер” виявлено дуплекс стиснення (режим транспресії), виражений складчастою системою (F), ширина якої до 287 м, і фрагментами пологих Новоіверських насувів, які змінюють простягання; д) зона розташованих ланцюгом дуплексів розтягу, із характерною ламано-ступінчастою конфігурацією на шахті “Добропільська”, до якої приурочені “мокрі суфляри”, розвивається завдяки локальному розтягу (транстенсії); е) парагенез деформацій на досліджуваній території відповідає зсувному полю тектонічних напружень із північ-північно-західним напрямом стиснення і схід-північно-східним - розтягування, в якому по розривах відбуваються скидо-зсувні зміщення. **Практична значущість.** Встановлені закономірності впливу зсувної тектоніки на формування ГДЯ у вугільних пластах важливі не тільки завдяки уточненню механізму тектоногенезу та природи формування пул-апатів (кулісоподібних зон розтягу), але і можливості використання додаткових прогностичних критеріїв пошуків скупчень вільного метану та його раптових проявів (ГДЯ) у вугільних пластах. Застосування на гірничовидобувних підприємствах цих закономірностей дасть змогу зменшити витрати на боротьбу із небезпечними проявами ГДЯ та надійно їх прогнозувати.

Ключові слова: Красноармійська монокліналь; транстенсія; пул-апат; зсувна зона; ГДЯ; суфляри; парагенез; скидо-зсувні зміщення; кулісне перекриття; сколи Ріделя.

Вступ

За оцінками провідних фахівців, перспективи розвитку енергетики України в найближчі роки пов’язані, переважно, з розробленням газувугілля

них родовищ. Запаси вугілля в українській частині Донбасу становлять приблизно 56,7 млрд т, ресурси метану у вуглепородній товщі, за різними оцінками, коливаються від 12 до 25 трлн м³.

Близько 95,4 % вітчизняного вуглевидобутку припадає на Донбас. Проте в умовах зменшення фінансування геологорозвідувальних робіт та ситуації сучасного освоєння вугільних родовищ Донбасу перспективність газовугільних осадових відкладів, у зв'язку з можливістю видобування метану (пошуки скупчень вільного метану у вугільних пластах) або прогнозування ділянок його локалізації та виникнення газодинамічних явищ (ГДЯ), потребує здійснення спеціалізованих сучасних менш затратних досліджень. Навряд чи найближчим часом з'явиться можливість вести геологорозвідувальні роботи в обсягах, необхідних для успішного гірничо-геологічного прогнозу як ділянок скупчень метану, так і виникнення ГДЯ на гірничовидобувних підприємствах, які працюють. Об'єктивно актуальність цієї проблеми сягає критичних рівнів у межах гірничих відведень викидонебезпечних газовугільних масивів. Саме тому з метою успішного гірничо-геологічного прогнозу щодо означених вище питань за вже наявною інформацією цілісне уявлення про процеси формування вугленосної товщі, її плікативні та диз'юнктивні структури, які залучені до накопичення вугільного метану, їх роль у виникненні ГДЯ, доцільно застосовувати прийоми геодинамічного аналізу, а саме структурно-тектонічні реконструкції геодинамічного розвитку окремих вугільних районів Донбасу (Східна Україна).

Пошуки скупчень вільного метану та його несподіваних проявів (ГДЯ) у вугільних пластах повинні ґрунтуватися на пошукових критеріях, за допомогою яких можна виявляти та оконтурювати зони скупчення вільних вуглеводневих газів або небезпечних зон ГДЯ у вугленосних відкладах. Прогностичними критеріями, за якими традиційно визначають зони скупчення метану у вугільних пластах (підвищена метаносність вугільних пластів, що зумовлена оптимальним ступенем метаморфізму вугілля; глибина залягання; складність тектоніки та літологічного складу вміщувальних порід або покращені фільтраційно-ємнісні властивості останніх), не завжди дають змогу оцінити перспективи локальної площі стосовно наявності або відсутності скупчень вугільного метану без знань про розвиток геодинамічних подій. Тобто палеографічні, палеофаціальні та інші подібні дослідження, що реконструюють первинні параметри фільтраційно-ємнісних властивостей порід, не мають сенсу та практичної цінності без оцінки наслідків окремих етапів тектонічного розвитку регіону.

Мета

Мета дослідження – визначення структурно-кінематичних закономірностей формування та розвитку зсувних дислокацій КМ Донбасу на основі аналізу результатів визначення фактичного

розташування “тектоносмуг” – сколів Ріделя за даними розробленої цифрової моделі тектонічної порушеності та встановлення головних закономірностей впливу зсувної тектоніки на формування ГДЯ у вугленосних відкладах КМ.

Методика досліджень

Для аналізу структурно-геологічної інформації та реконструкцій зсувних полів напружень застосовано методи цифрової геологічної картографії, гірничо-геометричного моделювання, структурно-геологічного аналізу (діагностична геометрія парагенезів розривних структур – аналіз структурного рисунка [Sylvester, 1988; Katza, et al, 2004; Tchalenko, 1970]), морфотектонічного градієнтного аналізу, статистичного опрацювання фактичних даних про: 2048 тектонічних порушень (оцінювання частоти зустрічі розривів методом роз-діаграм і діапазонної фільтрації), літолого-фаціальних неоднорідностей і зон обвалень, які розвиваються успадковано по первинно закладених ослаблених зонах, по семи вугільних пластах ($k_5 l_2^1, l_3, l_8, m_4, m_4^2, m_5^{1b}$) у межах чотирьох гірничих відведень (шахти: “Піонер”, “Добропільська”, “Красноармійська” та “Червонолиманська”) КМ.

Застосовано окремі прийоми морфотектонічного аналізу, який полягає у пошуку структурної впорядкованості рельєфу структурних поверхонь (вугільного пласта), що відображає закономірності загальної тектонічної будови, в якій особливе значення мають градієнтні структури, що характеризують ступінь контрастності зміни глибини занурення поверхні, а також аномалії загального структурного плану.

Результати досліджень.

Об'єкт дослідження та аналіз раніше виконаних досліджень

Особливий інтерес, зважаючи на перспективність газовугільних осадових покладів у зв'язку з можливістю видобування метану або прогнозування ділянок його локалізації та виникнення ГДЯ на теренах Донецького басейну, викликають структури, розташовані у вузьких смугах на межі ДСС із Бахмутською та Кальміус-Торецькою улоговинами (КТУ) [Богданов, Черняков, 2009; Привалов и др., 2001]. Наприклад, у межах прибортових та надрозломних розривних структур зафіксовано не тільки суфляри і вибухи природного газу та численні газопрояви (північна частина КМ), замикання південного борта КТУ та північно-східної частини Донбасу (ділянка крайньої частини басейну, Луганська область), але й зони північно-західного простягання, в яких сконцентровані локальні газові родовища [Privalov, et al., 2011] (рис. 1, а), незважаючи на відмінності в геоструктурній позиції окремих геологопромислових районів, у режимі тектонічних рухів, що впливали на формування розривної тектоніки різної амплітуди (рис. 1, б-і).

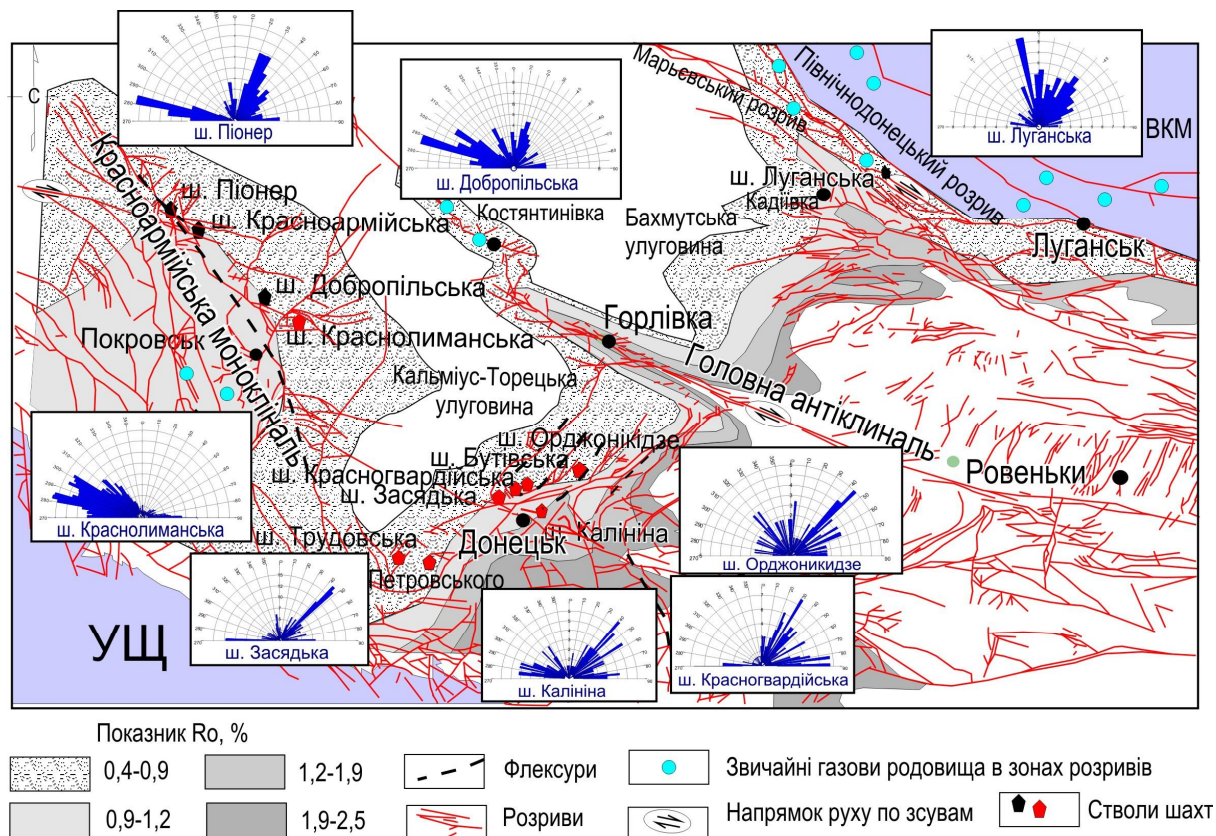


Рис. 1. Карта-схема тектонічної порушеності окремих геологопромислових районів Донбасу з деталізацією: прив'язки локальних газових родовищ та картограми показника відбиття вітриніту (R_o , %) в ізолініях за оцінками [Privalov, et al., 2011] (а), рози-діаграми простягань середньо- та малоамплітудної розривної тектоніки (б-і) на площах (у межах гірничих відведень гірничодобувних підприємств), що територіально розташовані на межі ДСС з Кальміус-Торецькою та Бахмутською улоговинами

На площах, які територіально розташовані на межі ДСС, у певному сенсі, ці структури схожі. По-перше, це показник відбиття вітриніту (R_o) за оцінками [Privalov, 2011], як найоб'єктивніший параметр метаморфізму, на аналізованих площах має рівноцінні низькі значення – 0,4–0,8 % (марка вугілля Д), наприклад, у межах гірничих відведень шахт “Червонолиманської” та “Луганської” з незначним підвищенням – 0,8–1,2 % (марка вугілля Г, Ж) на полях шахт “Добропільська”, “Білозерська”, шахт центральної частини Кадіївського (у минулому Стаханівського) регіону (рис. 1, а). По-друге, скупчення газу в межах КМ приурочені до горизонтів пісковиків l_7Sl_6 , l_6Sl_5 , l_5Sl_4 , l_4Sl_3 , l_2Sk_7 , k_7Sk_5 , відкрита пористість в них варіює від 10,58 до 4,68 %, проникність у діапазоні $(0,06-0,69) \cdot 10^{-15} \text{ м}^2 \text{ (мД)}$ [Privalov, et al., 2011]. Максимальний задокументований вміст газу – 14,0-27,8 $\text{м}^3/\text{т г м}$ на пластах m_6^2 , m_4^2 , l_7 , l_5 , l_4 , l_3 , k_7 , k_5 на відповідних глибинах від 338 до 980 м. Аналогічна ситуація складається і в північно-східній частині Донбасу. Вугілля Лисичанського району слабкометаморфізоване та представлене марками Д та Г. Проникність порід, що не розбиті тріщинами, дуже низька, і навіть у пісковиків вимірюється тисячними

частками мілідарсі. Середні значення загальної пористості аргілітів, алевролітів і пісковиків становлять: 12–14 % (довгополум'яне вугілля) і 10–13 % у товщі, що містить газове вугілля.

Показово, що вибухи та суфлярні виділення метану, зафіксовані у різні періоди на ділянках шахт (із заходу на схід): “Білицька”, “Добропільська”, “Червонолиманська” (КМ); ім. О. Ф. Засядька, ім. О. О. Скочинського, ім. М. І. Калініна, “Червона Зірка”, ім. К. І. Поченкова, ім. В. М. Бажанова, “Красногвардійська”, ім. Г. К. Орджонікідзе (ДМР); “Луганська”, “Горецька”, “Матроська” (Алмазно-Мар'ївський геологопромисловий район) – приурочені до зон надрозломних структур глибинних розломів (рис. 1, а). Особливо цікавим виявляється і те, що у суфлярах та у викидах перерахованих гірничих відведень виявлено компонентний склад газу із високим вмістом рідких вуглеводнів (типу конденсату), зафіксовано прояви бітумів, важких вуглеводнів (бутану), вуглеводневої рідини (нафти), ароматичних вуглеводнів та мікропокладів газу з характерним для газових родовищ безперервним у часі припливом вільного газу. Наприклад, на шахті ім. О. Г. Стаханова (КМ) з тріщин викидо-небезпечного пісковика $l_2Sl_2^1$ під час проходження

штреку на глибині 986 м задокументовано виділення рідких вуглеводнів (нафта) [Канин, и др., 2005]. Нафтопрояви у Центральному районі Донбасу відзначено на шахті “Комсомолец” під час буріння свердловини з пласта k_4 на пісковик $k_4Sk_4^1$ [Карлов, и др., 1980], де виділилося більше ніж 500 л рідких вуглеводнів (газовий конденсат з температурою кипіння 208 °C і густиною 0,8246 г/см³ - фракційний склад близький до дизельного палива). У ДМР виділення газового конденсату з різким запахом нафтопродуктів у суфлярах зафіксовано на шахтах: ім. О. Ф. Засядька та “Щегловська-Глибока” (суфлярні газовиділення досягали 43,2–51,8 тис. м³/добу); шахта “Октябрьський Рудник” - виділення рідких вуглеводнів (типу конденсату) з пісковика m_3Sm_4 , після викидів породи та газу у виробках був відчутний запах нафтопродуктів); шахта “Чайкіно” (тріщинуватий вапняк M_1SM_2 , - окиснена нафта) та ім. В. М. Бажанова (лава – покрівля пласта n_1 – інтенсивне виділення конденсату із густиною 0,8414 г/см³ та температурою кипіння 204 °C) [Анциферов, и др., 2014]. У суфлярах шахти “Білицька” (КМ) виявлено високий вміст бутану C_4H_{10} (24,5 %) та гелію (He) - 2,2 %. Високий вміст важких вуглеводнів (C_2H_6 , C_3H_8) та He виявлено в двох районах західного борту КМ: ділянки “Добропільська-Капітальна” та ділянка “Північно-Родинська”. На цих самих площах у пісковиках світ C_2^7 , C_2^6 , C_2^5 встановлено наявність бітумів, а під час буріння свердловини розкрито локальну ділянку покладів газу із характерним для газових родовищ при-пливом вільного газу, що не загасав у часі.

Всі ці дані вказують на можливий процес підтікання глибинних флюїдів із подальшим перерозподілом вуглеводневих газів у масиві гірських порід у результаті дії тектонічного поля напружень за допомогою утворення так званого “структурного вікна”. Виявляється воно у вигляді просторових структур розтягування та стиснення, що періодично виникають, руйнуються і замінюють одна одну. Отже, необхідною умовою формування міграційного підтікання є наявність “структурних вікон” та структурних пасток і тектонічних полів напружень, унаслідок дії яких утворюються не тільки тектонічні неоднорідності, але і “структурні вікна”. Тектонічний фактор та вплив зсувних полів тектонічних напружень у масиві гірських порід на формування викидів вугілля та газу і аномальних газових скупчень у вугленосних відкладах ДМР або Західному Донбасі обґрунтовано і підтверджено у багатьох сучасних дослідженнях [Привалов, и др., 2011; Привалов, и др., 2012; Евдощук, и др., 2013; Bezruchko, et al., 2018]. За оцінками [Privalov, et al., 2011], найінтенсивніше метановиділення під час видобування вугілля цієї площі, як правило, пов’язане із зонами активної міграції вуглеводнів із пасток глибоких горизонтів.

У сучасних дослідженнях аналіз впливу тектонічного фактора на формування суфлярів метану зводиться, як правило, до пошуку взаємообу-

мовлених зв’язків у системі: метаморфізм – глибина - тріщинуватість - специфічність гірничо-геологічних умов. Згідно зі статистикою 46 % суфлярів приурочено до диз’юнктивів, 42 % до плікативів і 12 % до плікативних дислокацій, що ускладнені диз’юнктивними порушеннями [Большинский, и др., 2003]. За оцінками фахівців, суфляри геологічного походження по площі пластів розподілені нерівномірно і являють собою різноорієнтовані зони, які пов’язані з орієнтуванням тектонічних порушень і протяжність яких від десятків до декількох тисяч метрів за простяганням і падінням вугільних пластів. Зональність спостерігається не тільки в межах шахтних полів, але і в межах родовищ [Большинский, и др., 2003]. Отже, традиційно локальні метановиділення і їх групи, зокрема суфляри, пов’язують із наявністю у масиві гірських порід плікативних та диз’юнктивних структур (насуви, скиди, антикліналі, флексури), які виконують роль або пористих колекторів, або “пасток накопичення”. Однак і тут раптові ГДЯ або продуктивність дебіту видобувних свердловин проявляються вибірково, а їх локалізація у межах зон розривних і складчастих порушень складного клітинного характеру. Наприклад, у межах шахт КМ, за даними [Prykhodchenko, et al., 2019], аномалії метаноносності не пов’язані з тектонічними порушеннями і зосереджені у синклінальних структурах, трапляються також позитивні аномалії, пов’язані з локальними антиклінальними структурами. У дослідженнях автори практично не звертають увагу на геометрію систем тектонічних неоднорідностей і умови їх утворення. Досвід ведення гірничих робіт і раніше виконані дослідження показали приуроченість раптових викидів (ГДЯ) і геологічних суфлярів до ділянок розвитку малоамплітудної тектоніки [Приходченко В. Ф., Приходченко С. Ю., 2010; Забигайло, и др., 1974], які в сучасних дослідженнях регіону КМ інтерпретовано як “тектоносмути” зсувного генезису [Дьяченко, 2014; Дьяченко, Безручко, 2015]. Тому локальність метановиділення не можна пояснити тільки наявністю підвищеної тріщинуватості або її відсутністю. Мабуть, головна роль належить умовам формування тектонічних форм у тектонічному полі напружень, що сприяє змінам властивостей колекторів метану вугільних родовищ.

Особливий інтерес, в контексті вивчення наявного в газувугільному масиві (сьогодні) поля тектонічних напруг та його впливу на локальність газовиділень, викликають структури північної частини Покровського (колишнього Красноармійського) геологопромислового району, де зони підвищеного суфлярівиділення у виробках зазвичай приурочені до ділянок, що ускладнені розривами, розмивами із заповненням порожнини розмиву пісковиками, і де спостерігається неоднозначність приуроченості суфлярів до різних за амплітудою, морфологією і генезисом розривних та складчастих структур як у розрізі, так і за площею відпрацювання.

Отже, питання кореляції локалізації суфлярів на площі Покровського району, з певними системами зсувних деформацій, що сприяли формуванню “структурних вікон”, все ще залишається відкритим.

Особливості геоструктурної позиції та геометрії зсувної зони північно-західної частини Красноармійської моноклінали Донбасу

У геоструктурному плані досліджувана територія КМ (см. рис. 1) розташована в південно-західній частині КТУ. Структура витягнута в північно-західному напрямі на 100 км, простягаючись за шириною смуги вугленосних відкладів 18–20 км, та представлена системою підйомів, розмежованих дуже пологою, слабковираженою сідловиною.

Геологічна будова цього регіону характеризується розвиненими осадовими породами середнього і верхнього карбону, що перекриті молодшими осадовими породами (кайнозойськими, тріасовими, юрськими), сумарна потужність яких збільшується із півдня на північ. Кам'яновугільні відклади є чергуванням різних за складом та потужністю шарів вугілля, вапняків, пісковиків, аргілітів і алевролітів.

Відносне спокійне залягання порід порушено тектонічними розривами різного орієнтування і морфології. Перша група розривів (рис. 2), морфологічно представлена насупами близькомеридіонального Пн-ПнЗ простягання (Самарський, Красноармійський, Мерцаловський, північна частина Добропільського) і діагонального північно-східного орієнтування (Селідовський, Центральний, південна частина Добропільського, серія Ново-Іверських розривів). Друга – численні субпаралельні диз'юнктиви скидової морфології близькоширотного Пн-ПнЗ простягання (Червонолиманський, Глибокоярський, Карпівський, Грушівський, Федорівський, Самойлівський, Гнілушинський) і діагонального ПнС орієнтування - скид № 5, скид “В” (рис. 2, б, в, д, ж).

Аналіз структурного рисунка середньоамплітудної тектонічної порушеності вугільних пластів (рис. 2, б, в, д, ж) у межах гірничих відведень шахт: “Піонер”, “Красноармійська”, “Добропільська” та “Червонолиманська” дає підстави констатувати, що:

- субпаралельні середньоамплітудні диз'юнктиви переважно ПнС орієнтування (азимут 15–30°) незалежно від морфології (скиди або насупи) співвісні азимутальному орієнтуванню Центрального й південній частині Добропільського насупів та слугують межами паралелограмоподібних блоків, утворюючи або лускаті пакети, або пакети скидових уступів (залежно від морфології розриву), обмежені за простяганням скидовими зміщувачами Пн-ПнС і Пд-ПдЗ падіння;

- у разі лускатих пакетів в орієнтуванні падіння зміщувачів домінує С-ПдС напрямом, розриви, що

обмежують скидові уступи, характеризуються зустрічним З-ПнЗ напрямом падіння;

- середньоамплітудні розриви різної морфології представлені не єдиним зміщувачем, а серією порушень на всіх стратиграфічних горизонтах, що формують вертикальну тектоносмугу (рис. 2, б, в, д, ж);

- середньоамплітудні розриви ПнС орієнтування локалізуються у зонах, що прилягають до великоамплітудних насупів Пн-ПнС простягання (Красноармійський, північна частина Добропільського). Середньоамплітудні насупи вищезгаданого орієнтування характерні виключно для найпівнічнішої ділянки аналізованої площі (шахта “Піонер”). У міру віддалення у південно-східному напрямку в центральній частині блока, замкненого між великоамплітудними насупами Пн-ПнЗ простягання, середньоамплітудні насупні структури зникають (шахта “Красноармійська”) і поступаються місцем скидовим (шахта “Добропільська”). Відсутність розривів ПнС орієнтування фіксується у південно-східній частині аналізованої території (гірничі відведення шахти “Червонолиманська”);

- розриви ПнС орієнтування, морфологічно представлені зсуво-насупами, із глибиною змінюють не лише кут падіння (з 35° до 85°, тобто стають пологішими, наближаючись до поверхні у бік опущеного крила), але і азимут простягання (із 20–25° до 50°), утворюючи в плані віялове оперення основного розриву, азимутне орієнтування яких відповідає орієнтуванню широкої (до 270 м) зони плікативних дислокацій на східному крилі гірничого відведення шахти “Піонер” (рис. 2, 7–7);

- у найпівнічнішій частині аналізованої ділянки (шахта “Піонер”) істотно розвинені природні антиклінальні структури ПнС орієнтування у лежачих крилах, що стають пологішими до поверхні насупів (рис. 2, 1–1, 2–2, 3–3, 4–4);

- середньоамплітудні субпаралельні розриви близькоширотного З-ПнЗ орієнтування (азимут 270–290°) скидової морфології переважно крутого падіння (кут падіння 65–90°) фіксують на всіх цифрових моделях тектонічної порушеності аналізованих гірничих відведень (рис. 2);

- особливий інтерес становлять крутоспадні розриви скидової морфології Пн-ПнЗ орієнтування (Мерцалівський, Глибокоярський скиди), азимут простягання яких становить 330–350°, а зони дроблення великі, часто заміщені пісковиком і, за сутністю, представлені розсувом (рис. 2);

- на загальному фоні розривоутворення малоамплітудна тектоніка розвинена достатньо локально, сконцентрована в тектоносмугах, що орієнтовані співвісно до середньоамплітудних розривів різної морфології, до того ж вона розміщена в об'ємах скидових або лускоподібно-насупних пакетів, межами яких слугують розриви ПнС орієнтування;

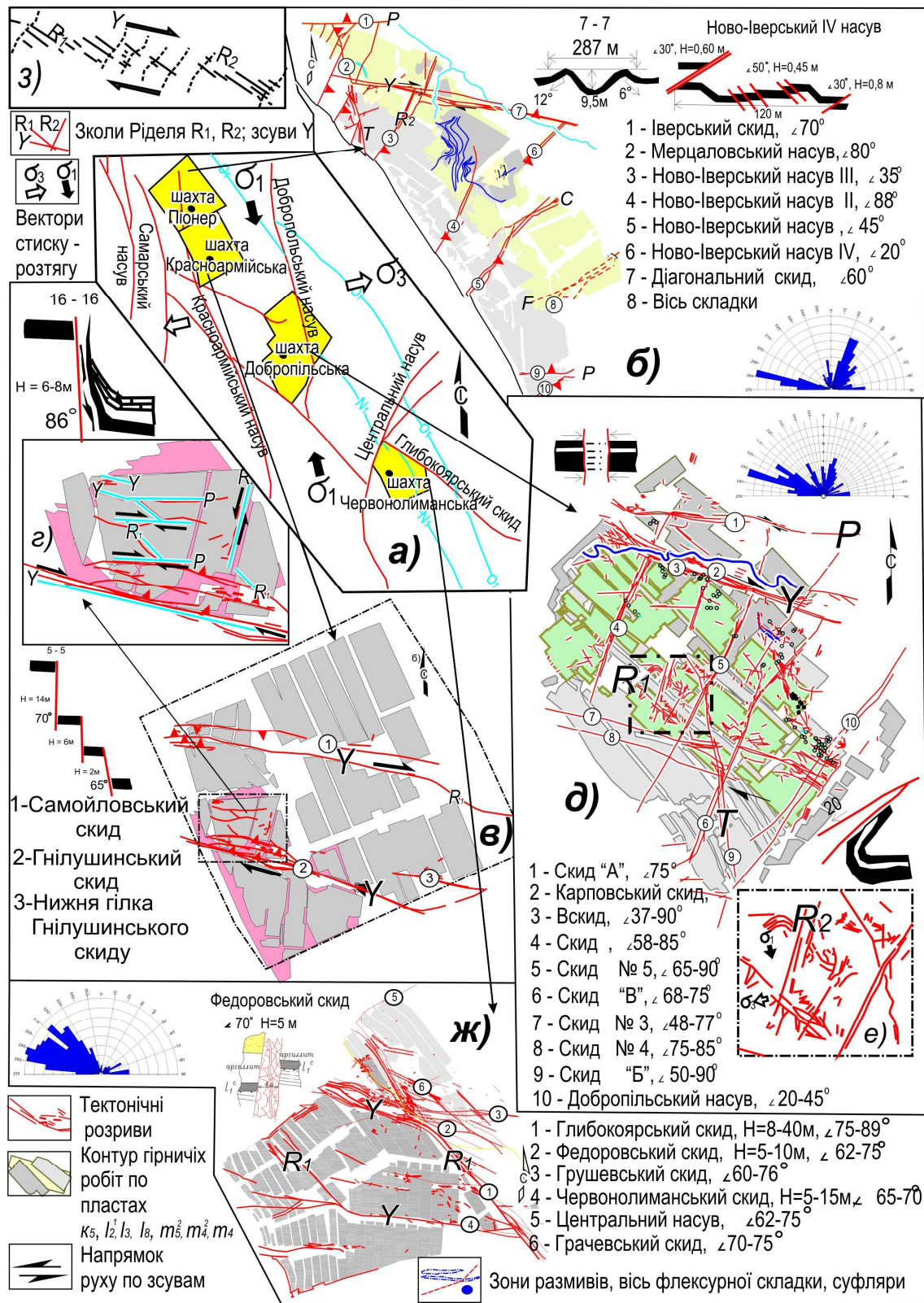


Рис. 2. Схема шахт Красноармійського геолого-промислового району (а). Цифрові гірничо-геометричні моделі тектонічної порушеності вугільних пластів у межах гірничих відведень шахт: Піонер (б); Свято-Покровська ("Красноармійська") (в); Добропільська (д); Червонолиманська (ж) із деталізацією роз-діаграм, сколів R_1, R_2, Y, P , тріщин розтягу T у контурі правозсувної зони, фрагментів тектонозмуг у межах ділянок (г, е) та замальовок результатів експериментів Ріделя [Riedel, 1929] (з)

- кут сполучення між тектоносмугами ПнЗ і ПнС орієнтування в загальному наближенні перевищує 60° , а розриви близькоширотного та Пн-ПнС простягань сполучаються під кутом близько 85° ;
- малоамплітудні розриви численні, сконцентровані в системі субвертикальних кулісоподібно розташованих пов'язаних "тектоносмуг", доволі рівномірно розподілені по площі та проєкційно збігаються у розрізі;

- у південно-східній частині гірничого відведення шахти "Піонер" сформувався дуплекс стиснення (режим транспресії), виражений складчастою системою (F), завширшки до 287 м, і фрагментами пологих Новоіверських насувів, які змінюють простягання (рис. 2, б).

Підсумовуючи вищенаведене та відповідно до загальноприйнятої концепції утворення насувних та скидових структур: перші формуються в обстановці локального стиснення, другі – в обстановці локального розтягування - системи розривів повинні були сформуватися в різних геодинамічних умовах, що, вочевидь, не відповідає дійсності. На думку [Павлов, и др., 2009]: "Просторові взаємини всіх виділених систем розривів свідчать про те, що вони одновікові або близько одновікові". В результаті використання кінематичного аналізу тріщино-розривних структур автори дійшли висновку, що структури "могли закладатися як зсуви". З огляду на викладене, вищеописані системи розривних дислокацій належать до зсувної асоціації структур із певними системами зсувних деформацій і внутрішньою структурою зсувних дуплексів. Тобто наведений аналіз фактичного матеріалу й інтерпретація численних даних, отриманих у різний час, дає підстави припустити, що розриви аналізованої геоструктурної одиниці сформувалися в обстановці зсувного поля напружень (горизонтальне положення головної кінематичної вісі стиснення – розтягу (σ_1 - σ_3), вісь проміжної напруженості σ_2 вертикальна).

Для аналізу взаємовідносин тектонічної порушеності та реконструкцій зсувних полів напружень у роботі використано дані щодо семи вугільних пластів (k_5 , l_2^1 , l_3 , l_8 , m_4 , m_4^2 , m_5^{16}) у межах чотирьох гірничих відведень (шахти "Піонер", "Добропільська", "Красноармійська" та "Червонолиманська"). Здійснено статистичне опрацювання фактичних даних щодо 2048 тектонічних порушень, зон обвалень та літолого-фаціальних неоднорідностей, які успадковано розвиваються по первинно закладених ослаблених зонах.

Аналіз структурного малюнка і максимумів зустрічі орієнтувань розривів на роз-діаграмах (рис. 2) дав змогу виділити дві системи розривних порушень: синтетичні праві R_1 -сколи (азимут простягання 300 – 310° , максимум відповідає 300 – 304°) й антитетичні ліві R_2 -сколи (азимут простягання 12 – 28° , максимум відповідає 22 – 24°), які симетричні щодо вісі стиснення (σ_1), паралельно до якої розвиваються тріщини відривання (T)

(рис. 2, е). Тріщини відривання займають положення бісектриси кута, що утворений сполученими сколами Ріделя R_1 та R_2 , із середнім значенням кута сполучення 66° (мінімальне значення 60° , максимальне 78°), азимут простягання тріщин відривання варіює у діапазоні 340 – 350° . Характерно, що системи сполучених розривних порушень - сколів Ріделя R_1 і R_2 (рис. 2, з) отримані в результаті тектонічного моделювання в експериментах Ріделя [Riedel, 1929] і на схемі інтерпретації натурних структурно-геологічних даних в гірничих виробках на ділянці досліджень (рис. 2, з, е, ж), практично ідентичні.

Сколи R_1 - діагональні й утворюють із віссю зони зсуву (Y) у напрямку зсування гострий кут α , який змінюється від 5° до 20 – 30° (переважають значення 15 – 20°), є синтетичними, тобто напрямки руху по розривах відповідає напрямку руху основної зони зсуву. Сколи R_2 - поперечні й, відповідно, антитетичні, тобто зсування крил розриву спрямовано протилежно щодо напрямку руху основної зони зсуву. Останні утворюють із віссю зсувної зони кут β , який може змінюватися від 65 – 70° до 80° . Величина кутів α і β зумовлена внутрішнім тертям, що виникає під час деформації зсуву. У міру зростання загальної деформації зсуву сколи Ріделя зазнають деяких обертань, тому значення кутів, як правило, збільшуються. Антитетичні сколи через їх поперечність щодо загального орієнтування переміщення частково викривляються, набуваючи в плані Z-подібної форми в межах граничних ділянок деформованої смуги внаслідок крайового ефекту зі збільшенням розмірів смуги в напрямку вісі зсуву. Саме цією особливістю (викривленням) і пояснюється діапазонний розкид в азимутальних орієнтуваннях антитетичних сколів Ріделя і, відповідно, варіації значень величини кута сполучення сколів R_1 та R_2 .

Оскільки у зсувній зоні не існує абсолютно лінійних систем, зони розривів часто перериваються, зміщуються одна щодо іншої, а зони дроблення порушень та ослаблених порід супроводжуються різноманітними деформаційними дефектами, тому траси "тектоносмуг" на досліджуваній території представлені окремими численними зміщувачами, які перериваються, розщеплюються на декілька гілок, а їх стратиграфічні амплітуди й азимут падіння характеризуються високою мінливістю як за простяганням, так і в розрізі.

Дослідження показали, що: розриви сформувалися в обстановці зсувного поля напружень, вісь укорочення простору (σ_1) внаслідок горизонтального зсуву орієнтована за азимутотом 160 – 170° (340 – 350°), вісь подовження (σ_3) - 70 – 80° (250 – 260°); системи сполучених під кутом 60 – 78° (середнє значення 66°) синтетичних правих (R_1) і антитетичних лівих (R_2) сколів Ріделя, симетричні щодо вісі стиснення (σ_1), їх орієнтування 300 – 310° та 12 – 28° (відповідно); тріщини відривання (T), паралельні до вісі стиснення (σ_1), - бісектриса

кута, утвореного сполученими R_1 і R_2 сколами, орієнтовані за азимутом 340–350°; синтетичні зсуви (Y) - основна правозсувна зона - виражені орієнтуванням крутоспадних розривів (морфологічно скидів) 3-С простягання (аз. ін. 280–290); вторинні синтетичні зсуви (P) за орієнтуванням близькі до широтної (270°). Інтерпретація структурно-геологічних даних аналізованих шахт дає змогу констатувати, що спостерігається чітка комплементарність розломної мережі в межах усіх гірничих відведень, тобто відповідність орієнтувань порушень, що утворені в контурі правозсувної зони (рис. 2).

Зазначимо також, що “тектоносмуги” R_1 та R_2 розташовані доволі регулярно. Антитетичні сколи (R_2) віддалені один від одного на відстань, яка для великих “тектоносмуг” з шириною порушеної зони від 50 м до 100 м становить 1600–2500 м, для дрібніших (з шириною зони до 50 м) - 800–1100 м (рис. 2, д, е). Відстань між синтетичними сколами (R_1) змінюється у межах 400–600 м.

По розривах північно-східного орієнтування фіксуються лівозсувні зміщення із характерним підворотом куліс (рис. 2, в), по розривах північно-західного орієнтування - правозсувні зміщення, що характерно для правозсувної зони. Антитетичні ліві сколи Ріделя (R_2) виражені чіткіше, ніж синтетичні праві сколи (R_1), і співвісні простягання крутоспадних скидів № 5, “В” й фрагмента Добропільського насуву, в крилі якого, що лежить, відпрацьовувалися аналізовані вугільні пласти. І навіть більше, горизонтальне зміщення розривів оперення уздовж Мерцаловського насуву в межах вугільного пласта l_8 шахти “Піонер” досягло майже 150 м (рис. 2, б).

Виявлена закономірність підтверджується фактичним орієнтуванням штрихів ковзання на площинах зміщувачів, які були зафіксовані під час картування розривів у гірничих виробках, тобто поряд зі скидовими і скидово-зсувними зміщеннями задокументовано правозсувні зміщення по субширотних і лівозсувні зміщення по субмеридіональних розривах [Павлов, и др., 2009]. На прояв тектонічних процесів у режимі горизонтального зсуву вказує і низка літологічних ознак. Це, передусім, зони заміщення вугілля, що контролюються зонами згущення тріщинуватості. Зазначене свідчить про те, що русла древніх водотоків дремували зони порушень.

Особливості “вологих суфлярів” на ділянці шахти “Добропільська” та закономірності їх розташування у структурах призсувного розтягу

Дослідження [Д’яченко, 2014] на ділянці шахти “Добропільська” засвідчили, що в гірничих виробках на вугільних пластах l_3 і l_2^1 зафіксовано 12 випадків прояву суфлярів метану, які приурочені не тільки до малоамплітудних порушень, але і до зон підвищених водопроявів у гірничих ви-

робках. Необхідно відзначити, що інтенсивний приплив води спостерігався практично у всіх пластах, що розроблялися (82 випадки) на різних глибинах відпрацювання, як в південних, так і в північних лавах. Наприклад, в східному крилі: пласт l_2^1 - 1, 2 південні лави (горизонт –300 і –350 м) 3, 4 північні лави (горизонт –400 і –450 м) 3, 4 північні лави; пласт l_3 - 1, 2 південні лави (горизонт –300 і –350 м), 4 північна лава (прилягання до підкиду № 1). Інтенсивність суфляро- і водопроявів нерівномірна і має характерну особливість: практично всі випадки сконцентровані у діагональній сходінкоподібній зоні північно-західного простягання (рис. 3, а) у східній частині гірничого відведення. Ця зона діагонально перетинає досліджувану територію з південного сходу на північний захід, в області якої найрозвиненіші малоамплітудні розриви, що інтерпретуються як тріщини розтягання (T), і розриви, що паралельні до основної зони зсуву (Y) - набір розривів розтягу і зсуву, до якого й приурочені гідро- і суфляроактивізація (рис. 3, в).

Аналіз структурного малюнка тектонічних розривів і загалом парагенезу деформацій, який відповідає зсувному полю тектонічних напруг (горизонтальне положення головної кінематичної площини стиснення - розтягу) з північ-північно-західним напрямком стиснення і схід-північно-східним - розтягування, в якому по розривах відбуваються скидо-зсувні зміщення, дає підстави припустити, що в східній частині гірничого відведення сформувалися дрібні западини (малі улоговини просідання) призсувного розтягу типу пул-апарт (рис. 3, б). Останні представлені паралелограмоподібними западинами, в яких кордони діагональних орієнтувань – косі зсуви, а субмеридіональний кордон – тріщини відривання та скиди. За даними [Новикова, Привалов, 2008] ці пари розривних або пластичних зсувів та скидів розвиваються завдяки локальному коровому розтягу, а ланцюжки розташованих поруч дуплексів мають характерну ламану або ступінчасту конфігурацію.

Окреме питання – модель формування комплексів пул-апарт. Структури призсувного розтягу (осадові мульди просідання) можуть утворюватися або як “чисті” пул-апати на вигинах великих зсувів, або як западини призсувного просідання в зонах кулісного перекриття зсувів. Ймовірно, на досліджуваній території геодинамічні події розвивалися за транстенсійним сценарієм, приводячи до утворення системи кулісоподібних пул-апарт структур. Поєднання Y та T розривів, які облямовують, в умовах транстенсії, швидше за все, забезпечує не тільки газопроникність зони (суфляроактивізацію), але і водопроникність. За даними [Руднев, 2009], найпотужніші в Донбасі “мокрі суфляри”, газоконденсатні й нафтові прояви приурочені до Лисичанського регіону, де тектоніка найскладніша у всьому басейні (північна зона дрібної складчастості пов’язана з найбільшим

Північнодонецьким насувом, який є крайовим глибинним розломом). Аналіз реконструкції формування Лисичанської антикліналі (ЛА) на межі з Північнодонецьким насувом дав змогу виділити структурні парагенези зон призсувного стиснення (транспресії) та наявність структур поп-ап, які формуються у зонах стиснення вздовж великих зсувів, а також чергування структур стиснення і розтягу [Diachenko, N., Diachenko A. 2019].

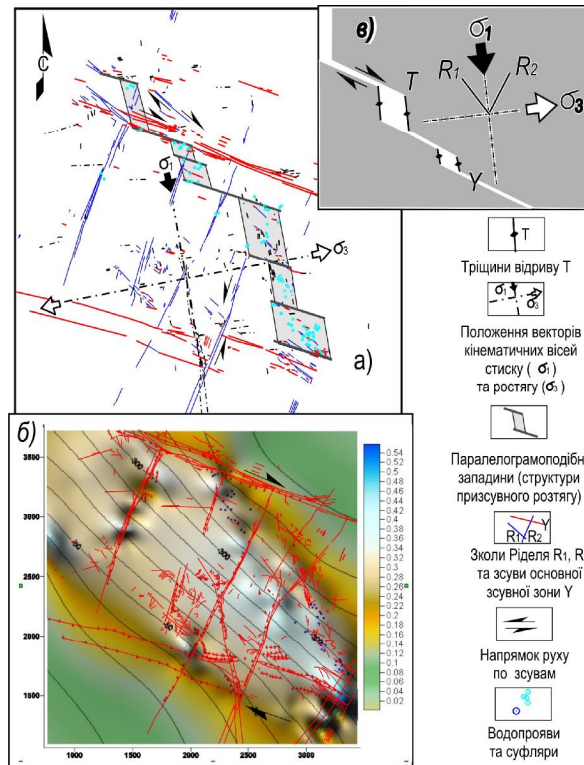


Рис. 3. Результати діапазонної фільтрації орієнтувань тектонічних розривів, утворених у контурі зсувної зони в умовах правозсувної активізації в режимі транстенсії, доповнені: розою-діаграмою зустрічі орієнтувань (а); результатом морфотектонічного аналізу пласта l_3 (б); і схемою формування структур призсувного розтягу - балок просідання (в)

Тобто “мокрі суфляри” виявлено як у зонах пул-апарт (КМ), так і у зонах косих поп-ап (ЛА). З огляду на те, що зсувні деформації створюють складну мозаїку зон транспресії та транстенсії, вони формують зсувні дуплекси, утворені в обстановці локального стиснення - розтягу всередині зони зсуву. Ця роль виявляється принциповою, коли йдеться про будову газонасичених вуглепородних масивів і просторовий контроль різноманітних проявів небезпечних ГДЯ та процесів у вугленосній товщі.

Дуплекси стиснення - тектонічні утворення, представлені системою поверхонь зриву, що перекривають одна одну за принципом укладання черепиці та супроводжуються підкидами, насувами

та флексурними перегинами, а на глибоких горизонтах зливаються з основним насувом.

До дуплексів розтягу належать призсувні пул-апарт структури (розтягнутий в сторони зсуворозсув). Останні – паралелограмоподібні западини, в яких кордон діагональних орієнтувань представлений косими зсувами, а субмеридіональний кордон - відривом і скидами, мають характерну ступінчасту конфігурацію.

Тобто, повертаючись до мети цих досліджень, встановивши закономірності впливу зсувних зон на формування ГДЯ у вугільних відкладах, необхідно, насамперед, виявляти зони надрозломних структур глибинних розломів, зсувні дуплекси стиснення та розтягу та їх формування.

Застосування в цій роботі прийомів морфотектонічного аналізу, який полягає у пошуку структурної впорядкованості рельєфу структурних поверхонь, тією чи іншою мірою відображає закономірності загальної тектонічної будови осадового чохла, в якому особливе значення мають градієнтні структури, що характеризують ступінь контрастності зміни глибини занурення поверхні, а також аномалії загального структурного плану, що дало змогу виявити дрібні улоговини просідання у рельєфі вугільного пласта l_2^1 . Результат виділення градієнтних структур (рис. 3, б) із характерною системою перегинів ізогіпс (відмінності фрагментації рельєфу) в зоні ступінчастої структури свідчить про контрастність зміни глибини занурення аналізованої поверхні.

Інтерпретація структурно-геологічних даних аналізованих шахт дає підстави констатувати, що спостерігається чітка комплементарність розломної мережі в межах всіх гірничих відведень, тобто відповідність орієнтувань порушень, що утворені в контурі правозсувної зони (рис. 2). А зона розташованих ланцюгом дуплексів розтягування, із характерною ламано-ступінчастою конфігурацією на шахті “Добропільська” (рис. 3), до якої приурочені гідро- і суфляроактивізація, і в області якої найрозвиненіші тріщини розтягування і розриви, паралельні до основної зони зсуву, розвивається завдяки локальному розтягуванню (транстенсії), що узгоджується із відомими кулісоподібними “пул-апартними” схемами, що визначають “вибірковість” гідро- і суфляроактивізації. Остання пов’язана із розущільненням порід в області пул-апарта, де зростає п’єзометричний напір за рахунок відтиснення і міграції вод з глибоких компресійно-напружених горизонтів у неоднорідній товщі, а також існування хвиль тиску, що виникають у разі перколяції [Булат, і др., 2007] води в пори після виходу метану.

Виявлена закономірність узгоджується і з теорією активізації конвективних потоків у зонах розтягування, які з погляду порушення термомеханічної рівноваги характеризуються підвищеною проникністю для дифузно-фільтраційних глибинних підтікань водно-газових флюїдів і газових струменів [Занкевич, Шафранская, 2009] і форму-

ванням термічно аномальних областей. Зокрема, формування термічно аномальної області на північ від м. Покровська (Красноармійськ), зокрема на ділянці досліджень, на перетині Маріупольський-Курського лінеамента, зони розривів Волноваха-Лозова та поперечно-глибинного розриву в зоні локального розтягування, де зафіксовано підвищені теплові потоки, відзначено в роботах [Привалов, 1998, Привалов, и др., 2007].

Наукова новизна

Вперше виконано дослідження структурно-кінематичних закономірностей формування та розвитку зсувних дислокацій Красноармійської моноклінали Донбасу та їх впливу на формування зон ГДЯ, яке здійснено на основі розробленої цифрової моделі фактичної тектонічної порушеності масиву гірських порід на прикладі групи гірничих відведень шахт “Піонер”, “Свято-Покровська” (до 1999 р. “Красноармійська-Західна”), “Червонолиманська” та “Добропільська” із використанням сучасних засобів опрацювання інформації та її візуалізації. Вперше встановлено: 1. Субпаралельні диз’юнктиви ПнС орієнтування ($15-30^\circ$), незалежно від морфології, слугують межами паралелограмоподібних блоків, утворюючи або лускаті пакети, або пакети скидних уступів (залежно від морфології розриву), обмежені за простяганням скидовими зміщувачами Пн-ПнС та ПдЗ падіння; в разі лускатих пакетів у орієнтуванні падіння зміщувачів домінує С-ПдС напрямком; розриви, що обмежують скидні уступи, характеризуються зустрічним ЗПн напрямком падіння. 2. Розриви ПдС орієнтування, морфологічно представлені зсувнонасувами, з глибиною змінюють не тільки кут падіння з 35° до 85° , але й азимут простягання (з $20-25^\circ$ до 50°), утворюючи в плані віялове оперення основного розриву; їх азимутальне орієнтування відповідає орієнтуванню широкої (до 270 м) зони плікативних дислокацій на східному крилі гірничого відведення шахти “Піонер”; у найпівнічнішій частині аналізованої площі (шахта “Піонер”) значно розвинені природозривні антиклінальні структури ПнС орієнтування в крилах, які лежать, що стають пологішими до поверхні насувів. 3. Середньоамплітудні розриви ПнС орієнтування локалізуються у зонах, прилеглих до великоамплітудних насувів Пн-ПнС простягання (Красноармійський, північна частина Добропільського). Середньоамплітудні насуви вищезазначеного орієнтування характерні для найпівнічнішої ділянки аналізованої площі (шахта “Піонер”). У міру віддалення в південно-східному напрямку в центральній частині блока (між великоамплітудними насувами З-ПдЗ простягання) середньоамплітудні насувні структури поступаються місцем скидам (шахта “Добропільська”); у південно-східній частині аналізованої території (шахта “Червонолиманська”) розриви ПнС орієнтування зовсім відсутні. 4. Розриви різноманітної морфології представлені

не поодиноким зміщувачем, а серією порушень на всіх стратиграфічних горизонтах, які формують зону розривоутворення - вертикальну “тектоносмугу”. 5. У південно-східній частині гірничого відведення шахти “Піонер” виявлено дуплекс стиснення (режим транспресії), виражений складчастою системою (F), завширшки до 287 м, і фрагментами пологих Новоіверських насувів, які змінюють простягання. 6. Зона розташованих ланцюгом дуплексів розтягу, із характерною ламаноступінчастою конфігурацією на шахті “Добропільська”, до якої приурочені “мокрі суфляри”, і в області якої найрозвиненіші тріщини розтягування і розриви, паралельні до основної зони зсуву, розвивається завдяки локальному розтягу (транстенсії). Вперше доведено, що парагенез деформацій на досліджуваній території відповідає зсувному полю тектонічних напруг (горизонтальне положення головної кінематичної площини стиснення - розтягу) з північ-північно-західним напрямком стиснення і схід-північно-східним - розтягування, в якому по розривах відбуваються скидо-зсувні зміщення.

Практична значущість

Встановлені в роботі закономірності впливу зсувної тектоніки на локалізацію ГДЯ у вугільних пластах КМ важливі не тільки уточненням механізму тектоногенезу та природи формування “структурних вікон” у вигляді кулісоподібних зон розтягу, але і можливістю використання додаткових прогностичних критеріїв пошуків скупчень вільного метану та його раптових проявів (ГДЯ) у вугільних пластах. Оскільки традиційні критерії (підвищена метаноносність, зумовлена оптимальним ступенем метаморфізму вугілля; глибина залягання; покращені фітраційно-смісні властивості вміщувальних порід) не завжди дають змогу оцінити перспективи локальної площі стосовно наявності або відсутності скупчень вугільного метану та його раптових проявів без розуміння розвитку геодинамічних подій, тому потрібно, передусім, зосередити увагу дослідників на оцінюванні етапів тектонічного розвитку окремих структурних одиниць регіону із сучасної позиції. Застосування на гірничодобувних підприємствах виявлених у дослідженні закономірностей дасть змогу зменшити витрати на боротьбу з раптовими проявами ГДЯ під час експлуатації газовугільного родовища та надійно прогнозувати ці явища.

Висновки

Проблема важкопрогнозованих природних небезпек геологічного, гідрогеологічного і геомеханічного характеру та пов’язані з нею матеріальні й людські втрати в сучасному вуглевидобуванні характерна для численних гірничодобувних підприємств Донбасу. До найнебезпечніших факторів підземного видобування вугілля традиційно зараховують ГДЯ. Для ефективного вибору методів їх

прогнозування і запобігання їм необхідно враховувати закономірності їх локалізації. Раптові викиди вугілля і газу, суфляри геологічного походження розподіляються по площі пластів нерівномірно і являють собою різноорієнтовані зони, пов'язані як із орієнтуванням тектонічних порушень, так і з плікративними структурами. Їхня протяжність – від десятків до декількох тисяч метрів за простяганням і падінням вугільних пластів. Локальність ГДЯ неможливо пояснити лише наявністю підвищеної тріщинуватості або її відсутністю. Вочевидь, провідна роль належить умовам утворення тектонічних форм у тектонічному полі напружень, що сприяє зміні властивостей колекторів газовугільних родовищ.

Саме тому реконструкція геодинамічного розвитку зсувної дислокаційної зони (реконструкція зсувних полів напружень) КМ та виявлення закономірностей її впливу на формування ГДЯ у вугільних відкладах є важливим і актуальним завданням досліджень. Викладені результати геометризації та механізму виникнення тектонічної порушеності в межах КМ дали змогу виявити просторово зв'язані геоструктурні елементи, що розвиваються кінематично погоджено і взаємопов'язано, з характерною внутрішньою будовою і з відповідними до режиму правозсувної зони структурним парагенезом, латеральною та вертикальною структурною зональністю. Аналіз структурного малюнка і максимумів зустрічі орієнтувань мало- та середньо-амплітудних розривів на розах-діаграмах дав можливість виділити сім систем розривних порушень: синтетичні праві (R_1) й антитетичні ліві (R_2) сколи Ріделя, симетричні щодо вісі стиснення (σ_1) і з орієнтуванням $300\text{--}310^\circ$ та $12\text{--}28^\circ$ (відповідно); тріщини відривання (T), які паралельні до вісі стиснення (σ_1) та орієнтовані за азимутом $340\text{--}350^\circ$; синтетичні зсуви (Y) - основна правозсувна зона - виражені орієнтуванням крутоспадних розривів (морфологічно скидів) за простяганням $280\text{--}290^\circ$; вторинні синтетичні зсуви (P), за орієнтуванням близькі до широтних (270°). Цей парагенез деформацій на досліджуваній території відповідає зсувному полю тектонічних напружень (вісь укорочення простору (σ_1) внаслідок горизонтального зсуву орієнтована за азимутом $160\text{--}170^\circ$ ($340\text{--}350^\circ$), вісь подовження (σ_3) - $70\text{--}80^\circ$ ($250\text{--}260^\circ$) з північ-північно-західним напрямком стиснення і схід-північно-східним - розтягування, в якому по розривах відбуваються скидо-зсувні зміщення. Встановлено, що субпаралельні диз'юнктиви ПнС орієнтування ($15\text{--}30^\circ$) незалежно від морфології слугують межами паралелограмоподібних блоків, утворюючи або лускаті пакети, або пакети скидних уступів (залежно від морфології розриву), обмежені за простяганням скидовими зміщувачами Пн-ПнС та ПдЗ падіння; у разі лускатих пакетів у орієнтуванні падіння зміщувачів домінує С-ПдС напрямком, розриви, що обмежують скидні уступи, характеризуються зустрічним ЗПн напрям-

ком падіння. Встановлено, що розриви ПдС орієнтування морфологічно представлені зсуво-насувами та з глибиною змінюють не тільки кут падіння з 35° до 85° , але й азимут простягання (з $20\text{--}25^\circ$ до 50°), утворюючи в плані в'ялове оперення основного розриву, азимутальне орієнтування яких відповідає орієнтуванню широкої (до 270 м) зони плікративних дислокацій на східному крилі гірничого відведення шахти "Піонер"; у найпівнічнішій частині аналізованої площі (шахта "Піонер") значного розвитку набули природні антиклінальні структури ПнС орієнтування в крилах, які лежать, що стають пологішими до поверхні насувів. У південно-східній частині гірничого відведення шахти "Піонер" виявлено дуплекс стиснення (режим транспресії), виражений складчастою системою (F), завширшки до 287 м, і фрагментами пологих Новоіверських насувів, які змінюють простягання. Запропонована тектонічна модель формування "структурних вікон" (зона розташованих ланцюгом дуплексів розтягу, із характерною ламано-ступінчастою конфігурацією на шахті "Добропільська") у режимі транстенсії, що зумовлює прояви ГДЯ ("мокрі суфляри") на теренах КМ у вигляді пул-апартових малих улоговин просідання, які сформовані під дією зсувного поля тектонічних напружень. Встановлено, що численні викиди вугілля і порід та суфляри, які зафіксовано на ділянках шахт (із заходу на схід): "Білицька", "Добропільська", "Червонолиманська", ім. О. Ф. Засядька, ім. О. О. Скочинського, ім. М. І. Калініна, "Червона Зірка", ім. К. І. Поченкова, ім. В. М. Бажанова, "Чайкіно", "Луганська", "Горецька", "Матроська" – мали компонентний склад газу з високим вмістом рідких вуглеводнів (типу конденсату). На цих шахтах також зафіксовано прояви важких вуглеводнів (бутану), вуглеводневої рідини (нафти), ароматичних вуглеводнів та бітумів, незважаючи на відмінності в геоструктурній позиції окремих геолого-промислових районів, що територіально розташовані на межі ДСС.

Це свідчить про можливість підтікання глибинних флюїдів із подальшим перерозподілом вуглеводневих газів у масиві гірських порід у результаті дії зсувного поля тектонічних напружень у зонах надрозломних структур глибинних розломів. Отримані результати дали змогу не тільки по-іншому розглянути проблеми тектогенезу КМ, але і поставити низку питань, пов'язаних із підвищенням точності ефективного вибору методів прогнозування ГДЯ.

Список літератури

- Анциферов А. В., Канин В. А., Голубев А. А., Галемский П. В. Данные о глубинных подтоках флюидов, формирующих современную газоносность пород Донбасса. *Наукові праці УкрНДМІ НАНУ*, 2014. № 14. С. 384–398.

- Богданов Ю. А., Черняков А. М. Вероятная причина газовых выбросов в шахтах Донбасса и возможные пути их изучения. *Доповіді НАНУ*, 2009. №12. С. 104–111.
- Большинский М. И., Лысков Б. А., Каплюхин А. А. *Газодинамические явления в шахтах*: монография. Севастополь: Вебер, 2003. 284 с.
- Булат А. Ф., Дырда В. И., Привалов В. А., Панова Е. А., др. *Фракталы в геомеханике*: монография. К.: Наукова думка, 2007. 392 с.
- Дьяченко Н. А. Исследование процессов образования сдвиговой тектоники и ее влияния на локализацию зон гидро- и суфляроактивизации. *Наукові праці УкрНДМІ НАНУ*, 2014. №14. С. 269–286.
- Дьяченко Н. А., Безручко К. А. Роль сдвиговых дуплексов в структурном контроле “избирательности” газопроявлений в угольных месторождениях. *Геологія горючих копалин: досягнення та перспективи* (2.09–3.09.2015): тези Міжнар. наук. конф. Інституту геологічних наук НАНУ. К.: ІГН НАНУ, 2015. С. 38–42.
- Евдошук Н. И., Вергельская Н. В., Кришталь А. Н. О роли горногеологических условий и физико-химических факторов при формировании газонасыщенности углепородных массивов Донецко-Макеевского углепромышленного района. *Тектоніка і стратиграфія*, 2013. Вип. 40. С. 12–26.
- Забигаило В. Е., Широков А. З. и др. *Геологические факторы выбороопасности пород Донбасса*: монография. К.: Наук. думка, 1974. 270 с.
- Занкевич Б. А., Шафранская Н. В. Тектоническая позиция зоны газовых факелов северо-западной части Черного. *Геология и полезные ископаемые Мирового океана*, 2009. № 3. С. 35–54.
- Канин В. А., Тихолиз А. М., Голубев А. А., Пашенко А. В. Взрывоопасные компоненты рудничного газа. *Уголь Украины*, 2005. № 7. С. 28–30.
- Карлов А. И., Канин В. А., Мегель Ю. В. Нефтепроявления в Центральном районе Донбасса. *Техника безопасности, охрана труда и горноспасательное дело*, 1980. № 5. С. 8–9.
- Новикова М. С., Привалов В. А. Пулл-апартовые бассейны. Механизм возникновения и распространение. *Геолого-мінералогічний вісник*, 2008. № 2 (20). С. 56–59.
- Павлов И. О., Корчемагин, Е. В., Сухинина В. А. Поля напряжений и особенности разрывной тектоники шахтных полей Красноармейского района Донбасса. *Наукові праці УкрНДМІ НАНУ*, 2009. № 5 (частина II). С. 181–188.
- Привалов В. А. Вращение блоков и сценарий тектонической эволюции Донецкого бассейна. *Геологія і геохімія горючих копалин*, 1998. № 4. С. 142–158.
- Привалов В. А., Саксенхофер Р. Ф., Жикаляк Н. В. и др. Тепловые потоки в геологической истории Донбасса: результаты моделирования. *Наукові праці ДонНТУ: серія гірн.-геол.*, 2001. Вип. 32. С. 14–21.
- Привалов В. О., Заксенгофер Р., Шпигель К., Панова О. та ін. Розвиток процесів вуглефікації у Донбасі як послідовність тектонічних і термальних подій. *Праці Наукового товариства ім. Шевченка: Геол. збірник* (Львів), 2007. Т. XIX. С. 164–174.
- Привалов В. А., Саксенхофер Р. Ф., Панова О. А., Дьяченко Н. А. и др. Малоамплитудная тектоника поля шахты им. А. Ф. Засядько в связи с локализацией газодинамических явлений. *Наукові праці ДонНТУ: серія гірн.-геол.*, 2011. № 192 (15). С. 177–185.
- Привалов В. О., Панова О. А., Саксенхофер Р. Ф., Рейшенбахер Д. и др. Розвиток систем кліважу і малоамплітудної тектоніки та їх вплив на викиднебезпечність вугільних пластів у межах гірничого відведення шахти ім. О. Ф. Засядька. *Наукові праці УкрНДМІ НАН України*, 2012. № 11. С. 153–175.
- Приходченко В. Ф., Приходченко С. Ю. Тектонический контроль суфляров метана. *Геотехнічна механіка: міжвід. зб. наук. праць*. Ін-т геотехнічної механіки НАНУ, 2010. Вип. 88. С. 54–59.
- Руднев Е. Н. К вопросу борьбы с метаном на угольных шахтах Украины. *Уголь Украины*, 2009. № 1. С. 40–46.
- Bezruchko K., Diachenko N., Urazka M. Influence of the Western Donbass share dislocation zone on the formation of gas accumulations in coal-bearing sediments. *Geodynamics*, 2018. No. 1 (24). P. 27–39.
- Diachenko N., Diachenko A. Pop-up structures of Petrodonetska anticline and adjacent territories. https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2019/35/e3sconf_rmget18_00017/e3sconf_rmget18_00017.html
- Katza Y., Weinberger R., Aydin A. Geometry and kinematic evolution of Riedel shear structures, Capitol Reef National Park, Utah. *Journal of Structural Geology*, 2004. Vol. 26. No. 3. P. 491–501.
- Privalov V. A., Sachsenhofer R. F., Panova E. A., Antsiferov V. A. Tectonic factors affecting coal bed methane distribution in the Donets basin. *Наукові праці УкрНДМІ НАНУ*, 2011. № 9 (Ч. 2). С. 469–479.
- Prykhodchenko V. F., Khomenko N. V., Zhykalyak M. V., Prykhodchenko D. V., Tokar L. O. Influence of local orogeny and reservoir characteristics of enclosing rocks on the location of gas traps within the coal bearing deposit. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2019. No. 5. P. 11–16.
- Riedel W. Zur Mechanik Geologischer Brucherscheinungen. *Zentralblatt für Mineralogie, Geologie und Paleontologie*, B, 1929. P. 354–368.

Sylvester A. G. Strike-slip faults. *Bulletin Geological Society of America*, 1988. Vol. 100. P. 1666–1703.

Tchalenko J. S. Similarities between shear-zones of different magnitudes. *Bulletin Geological Society of America*, 1970. Vol. 81. P. 1625–1640.

K. BEZRUCHKO*, N. DIACHENKO

Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Sciences, 2-a, Simferopolska Str., Dnipro, 49005, Ukraine, tel.+38(067)5652246* fax +38(056)7462426, e-mail: gvrvg@meta.ua*, natalidyachenko1969@gmail.com

STRUCTURAL-KINEMATIC RELATIONSHIPS AT THE DEVELOPMENT OF SHEAR DISLOCATIONS AND THEIR IMPACT ON LOCALIZATION OF GAS-DYNAMIC PHENOMENA ON THE EXAMPLE OF KRASNOARMIISKA MONOCLINE AT DONBAS

Purpose. The purpose of the work is the reconstruction of the geodynamic development of the shear dislocation zone (shear stress fields) of the Krasnoarmiiska monocline (KM) of Donbas (Eastern Ukraine) and determining the relationships of their impact on the emergence of gas-dynamic phenomena (GDF) in coal sediments. **Methodology.** Methods of digital geological cartography, mining-geometric simulation, geological-structural analysis, and structural-geomorphological reconstruction are used for the analysis of structural-geological information. A complex of methods for statistical processing of data on the tectonic disturbance is used – estimation of the encounter frequency of azimuth orientations by the roses-diagram method. Techniques of morphotectonic analysis of the coal bed (a mathematical technique for identifying the gradient structures) are applied. **Results.** A tectonic model of formation of pull-aparts in the mode of transtension on the territory of KM (on the example of “Dobropilska” mine) is proposed, which results in manifestations of GDF (in particular “wet blowers”) in the form of a small kettle of subsidence in zones of en echelon overlapping of shears. The latter ones are formed under the action of the shear field of tectonic stresses (the axis of shortening of space is (σ_1) due to the horizontal shear is oriented in azimuth 160–170° (340–350°), the axis of elongation is (σ_3) – 70–80° (250–260°). At this, the combination of fringing Y and T faultings in the conditions of transtension, most likely, provides gas permeability and water permeability of the zone. Structure-kinematic relationships of formation and development of shear dislocations of KM of Donbas are researched. **Originality.** The structural and kinematic relationships in the formation and development of shear dislocations of the Krasnoarmiiskiy district of Donbas and their impact on the formation of GDF zones were studied firstly. They based on the developed digital model of the actual tectonic disturbance of the rock mass on the example of the mining laims group of KM. It is established for the first time: a) subparallel disjunctives of the NE orientation (15–30°), regardless of morphology, are as the boundaries of parallelogram-like blocks, forming either scaly packets or packets of fault scarp (depending on the morphology of the faultings), limited by the extension of the fault planes N-NE and SW fall; in the case of scaly packets in the orientation of the fall of the fault plane it is dominated by the E-SE direction, the faultings limiting the fault bowings are characterized by the opposite WN direction of the fall; b) faultings of SE orientation are morphologically represented by shear-thrusts, and with depth change not only the angle of incidence from 35° to 85°, but also the azimuth of extension (from 20–25° to 50°), forming in the plan a fanlike feathering of the main faulting; c) faultings of different morphology are represented not by a single fault plane, but by a series of disturbances on all stratigraphic horizons, which form a zone of faulting formation – a vertical “tectonic strip”; d) in the SE part of the mine “Pioner” a duplex of compression (transpression mode) was found, it is expressed by a folded system (F), up to 287 m wide and fragments of sloping, changing the extension of the Novoiverskyi thrusts; e) the zone of tensile duplexes located in the chain, which have a characteristic broken-step configuration at the “Dobropilska” mine, to which “wet blowers” are connected with, develops due to local stretching (transtension); f) paragenesis of deformations in the study area corresponds to the shear field of tectonic stresses with north-northwest direction of compression and east-northeast stretching, in which fault-shear displacement occurs along with the disjunctive breaks. **Practical significance.** The established relationships of the impact of shear tectonics on the formation of GDF in coal beds are important both by clarifying the mechanism of tectonogenesis and the nature of pull-aparts formation (en echelon zones of tension), and the possibility of using additional prognostic criteria for searching for accumulations of free methane and its sudden manifestations (GDF) in coal beds. The application of knowledge of these relationships at mining enterprises will allow reducing the costs for the struggle against dangerous GDF manifestations and predicting them reliably.

Key words: Krasnoarmiiska monocline; transtension; pull-apart; shear zone; GDF; blowers; paragenesis; shift-thrust displacements; en echelon overlapping; Riedel shears.

Надійшла 01.09.2020 р.