

УДК 551.435

В. Шевчук, д-р геол.-мінералог. наук, зав. каф.,
О. Іванік, д-р геол. наук, доц.

УМОВИ ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРНИХ ЗСУВІВ ТА ЇХ КЛАСИФІКАЦІЯ ДЛЯ ЦІЛЕЙ МОДЕЛЮВАННЯ ЗСУВНОЇ НЕБЕЗПЕКИ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. С.А.Вижвою)

Проаналізовано підходи до класифікації гравітаційних процесів. На основі поглибленого геологічного аналізу водно-гравітаційних процесів у регіонах із складною гетерогенною геологічною будовою визначено пріоритетний характер виникнення структурних зсувів у реологічно різних геологічних середовищах. Запропоновано нову класифікацію структурних зсувів та умов їх формування із визначальним впливом деструктивних зон, яка є підґрунтям побудови геолого-фізичних і математичних моделей зсувних схилів та моделювання зсувної небезпеки.

Different classifications of the gravitational processes have been analyzed. It was proved that the structural landslides of the different rheological mechanism have a dominate role in the region with the complicated geological structure. New classification of the structural landslides with the determinative influence of destructive zones has been proposed. It is a base of the geological-physical models and a landslide hazard modeling.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Сучасні гравітаційні екзогенні геологічні процеси, що відбуваються на схилах різної будови та морфології, є виразом взаємодії різногенетичних геологічних факторів ендегенного та екзогенного генезису. Схилі гравітаційні процеси є найбільш активним механізмом у денудаційно-аккумулятивних процесах, що впливають на техногенні об'єкти, зокрема на природно-техногенні системи різних категорій та призначення.

Серед гравітаційних процесів зазвичай виділяються власне гравітаційні процеси (осипи, обвали, камінепади), водно-гравітаційні процеси (зсуви) та гравітаційно-водні (селеві) процеси. Визначальними чинниками виникнення цих процесів є стан геологічного середовища, зокрема літолого-стратиграфічні умови та характеристики породних комплексів; гідрогеологічний режим; структурно-текстурні особливості гірських порід та форми їх залягання; характер рельєфу. До другої категорії факторів слід віднести динамічні процеси, що змінюють стан схилів: ерозійні процеси, вивітрювання, тектонічний режим території (геодинамічний фактор), сейсмічність та техногенні впливи. Окреме значення відіграє ландшафтно-кліматичний чинник. Комбінація та пріоритетність цих факторів визначають механізм та умови формування гравітаційних процесів. Кожний із проявлених процесів гравітаційної природи вимагає особливих підходів до їх моделювання та прогнозу, що визначаються фізико-геологічними моделями схилу та процесу, відповідними математичними моделями та створеними на їх основі алгоритмами. Розробка цих моделей базується на поглибленому геологічному аналізі геологічного середовища та визначенні параметрів та характеристик процесів, які мають особливості прояву залежно від реологічного стану геологічного середовища та відповідної геологічної будови схилів. Для побудови адекватних геологічних та математичних моделей гравітаційних процесів необхідно є їх класифікація, що передбачатиме вибір підходів та методів моделювання та прогнозування на їх основі стійкості схилів.

Безумовно, класифікації гравітаційних процесів мають важливе значення для їх дослідження, однак стан цього питання залишається проблематичним. На сьогодні в літературі існує понад сто класифікацій гравітаційних процесів, однак більшість з них не задовольняють потреб теоретичних та практичних досліджень. У роботі [10] приведений детальний аналіз різноманітних класифікацій гравітаційних процесів у історичному плані за морфологічними, регіональними та генетичними ознаками. Головними ознаками запропонованих універсальних класифікацій виступають літологічні, кінемати-

чні, структурні, вікові та інші. Методичні аспекти класифікаційних аспектів гравітаційних процесів та схилів детально розглянуто М.Г. Демчишиним [2, 3], Г. Рудьком, І. Якимовим [11] та ін.

У загальному плані класифікація являє собою систему підпорядкованих класів об'єктів (або предметів, станів, процесів), що зображується у вигляді схем чи ієрархічних таблиць та використовується для встановлення зв'язків між цими об'єктами. Безсумнівно, вибір ознак класифікації має головне значення, оскільки саме він підпорядковується системі закономірностей та відповідає певним цілям. Відмінні напрями та цілі досліджень формують різні аспекти вивчення одних і тих же об'єктів та процесів. У зв'язку з цим є недоцільною розробка єдиної класифікації, яка б враховувала всі аспекти гравітаційних процесів, оскільки вона не буде мати практичної реалізації. Звідси випливає можливість створення декількох таких класифікацій.

Класифікація гравітаційних процесів, зокрема зсувів, переслідують мету визначення адекватних засобів оцінки їх впливу на інженерні об'єкти, виходячи із необхідності встановлення механізму гравітаційних процесів, можливість їх прогнозування та попередження негативних наслідків. Для цього необхідно створити логічну схему різних типів чітко виражених таксонів гравітаційних процесів, однак складність полягає у тому, що ці процеси пов'язані взаємними переходами, а отже, поряд із однозначно визначеними видами процесів можуть проявлятися і проміжні види, які розглядатимуться як переходи до сусідніх таксонів [10]. Окрім того, класифікація повинна бути засобом, за допомогою якого накопичений емпіричний матеріал повинен систематизуватися та узагальнюватися, доводитися до теоретичних висновків щодо досліджених процесів та об'єктів. До того ж чітко визначена класифікація небезпечних процесів матиме економічний ефект, оскільки сприятиме виробці адекватних засобів протидії та захисту від цих явищ та може бути основою нормативних документів у транспортних та інших галузях.

При створенні класифікації зсувних процесів з метою оцінки з метою їх моделювання необхідно враховувати в першу чергу геологічні особливості схилів, гідрогеологічну обстановку, фізико-механічні та реологічні особливості гірських порід схилу, механізм, динаміку процесів, геоморфологічну будову схилу. Істотність обраних ознак визначається саме вище означеною метою створення обраної класифікації.

Кожний вид зсувних процесів має властивий йому механізм, хоча під час розвитку певного процесу може відбуватися зміна механізмів у результаті зміни ролі

окремих факторів, що визначають цей механізм. На схилі можуть одночасно розвиватись декілька видів гравітаційних процесів, пов'язаних один з одним як за механічними, так і за генетичними ознаками.

Дослідження зсувних процесів у різних регіонах із гетерогенною складною структурою продемонструвало пріоритетний вплив структурних зсувів складної будови на прояв небезпечних геологічних процесів із значними економічними та екологічними наслідками [4-8]. Це продиктувало необхідність уточнення та деталізації класифікації структурних зсувів. Безумовно, такі класифікації запропоновано різними авторами. Так, у роботі Н.Н. Маслова [9] пропонується серія понять, пов'язаних із зсувними процесами. У класифікації структурних особливостей схилів та пов'язаних із ними зсувних явищ ним виділено дев'ять структурних типів схилів, а саме: 1) із горизонтальним заляганням шарів; 2) падінням пластів у сторону схилу; 3) падінням пластів паралельно поверхні схилу; 4) падінням пластів всередину схилу; 5) трансгресивним заляганням; 6) ускладненої форми; 7) приляганням; 8) падінням поверхні підстелюючих порід у сторону схилу; 9) різним напрямком падіння поверхні підстелюючих порід. У класифікації форм порушення суцільності товщі розрізняється шість форм: 1) тріщини вивірювання; 2) тріщини псевдотетраконічні; 3) тріщини окремоті; 4) тріщини тектонічні; 5) тектонічні контакти (розломи, скиди тощо); 6) зони дроблення.

Структурний аспект формування гравітаційних процесів у цілому чітко простежується і у класифікації В.Д. Ломтадзе [8]. Зокрема, зсуви ним поділяються на три види – структурні (асеквентні, консеквентні, інсеквентні), пластичні (завжди консеквентні, тобто власне зсуви, зсуви-потоки та соліфлюкційні рухи) та структурно-пластичні. Класифікацію зсувів за геологічною структурою схилів запропоновано Є.П. Ємельяновою [10], головним підрозділом першого рангу в ній є виділення двох груп зсувів – глибоких та поверхневих. Глибокі зсуви у свою чергу поділяються за структурою схилів та заляганням шарів. М.Г. Демчишиним [3] визначено структурні (тектонічно первинні) схили, серед яких виділяються схили підняття, западин, розломів, скидів, підкидів, флексур, вулканічних тіл. Поряд із структурними, у класифікації виокремлюються структурно-денудаційні, денудаційні та штучні схили. Структурні зсуви класифіковано Г.І. Рудьком [1, 11], із виділенням зсувів, поверхні ковзання яких мають різне положення щодо поверхні нашарування (консеквентні, інсеквентних та ін.)

Слід зазначити, що у наведених класифікаціях, на наш погляд, недостатньо окреслений загальний підхід до аналізу геологічної структури схилів, на яких формуються зсуви. Авторами характеризується або характер положення та виникнення зсувних тіл по відношенню до схилів, або ж характер залягання шарів, який не завжди відповідає загальним уявленням щодо структурних особливостей породних комплексів. До того ж, недостатнім є аналіз реологічних характеристик середовища, у якому виникають зсуви. Ці обставини диктують необхідність розробки класифікації зсувів, що може бути використана з метою створення геологічних, фізико-геологічних та математичних моделей зсувних схилів та наступної розробки засобів оцінки стійкості схилів.

Характеристика умов формування структурних зсувів та класифікаційні ознаки. Механізми та чинники формування зсувних процесів розглянуто на прикладі модельних об'єктів у Карпатському, Кримському та Середньопридніпровському регіонах, що мають складну геологічну будову та характеризуються специфічними умовами розвитку гравітаційних процесів різних класифікаційних категорій і груп. Так, у Карпатському регіоні переважають структурні зсуви зсуви, сформовані у

неоднорідному, анізотропному середовищі, приурочені до схилів багаторусної будови. Більшість зсувів виявлено у флішевих відкладах поркулецької світи ($K_{1-2} pr$), чорногородської світи ($K_2-P_2 ch$), дусинської, турицької та маломижненської світ олігоцену, порушених деструктивними зонами різної щодо схилів орієнтації. Дослідженнями підтверджено особливу роль деструктивних зон, що характеризуються інтенсивною тріщинуватістю, брекчіюванням та меланжуванням флішевих товщ. Такі зони відзначаються високою водопроникністю та розвитком суфозійних процесів. В їх межах різко знижуються міцнісні властивості порід та відбуваються процеси зсувоутворення, що мають масштабний характер особливо за умов субпаралельного розташування таких зон щодо річкових долин та схилів. Підпорядковане значення у Карпатському регіоні мають зсуви, сформовані у квазіоднорідному середовищі, представленому переважно четвертинними відкладами різного генезису. Вони належать до категорії комбінованих зсувів складної природи багатоетапного формування. Як правило, це структурні зсуви консеквентного типу, утворені на місці давніх консеквентних та інсеквентних зсувів та ускладнені формами другого порядку.

Гравітаційні процеси Кримського регіону підпорядковані дії сейсмічного, структурного, літологічного, гідрогенетичного та геоморфологічного факторів. Тут виділяються масштабні власне гравітаційні процеси – обвали, камінепади та зсувні процеси. На формування зсувних явищ наклали відбиток наявність Головного пасма Кримських гір з високим скелястим обривом у південній частині та порівняно плоскою поверхнею вершин, а також особливості геологічної будови Внутрішнього і Зовнішнього пасом. Відміни літофаціального складу відкладів зумовили різну інтенсивність денудаційних процесів та розвиток ерозійно-денудаційного рельєфу з короткими гостровершинними або згладженими хребтами і міжгірськими улоговинами ерозійно-тектонічного походження. Тектонічна обстановка, що характеризувалась склепінневими диференційованими підняттями Головного пасма та опусканням Чорноморської западини, сприяла розвитку на південному схилі ерозійних і гравітаційних процесів, що визначили своєрідний ерозійно-зсувний рельєф, формування якого продовжується і донині. Характерною ознакою цього рельєфу є численні зсуви – як давні, стабілізовані, так і сучасні.

Розвиток зсувних процесів спостерігається в юрських та крейдяних породних комплексах, зокрема у відкладах таврійської серії ($T_3-J_1 tv$), верхнього байосу, келовею-верхньої юри-беріасу, валанжину-нижнього готеріву, верхнього готеріву-нижнього барему, верхнього барему-апту, апту. Відклади літологічно строкаті, що спричиняє утворення зсувів різних механізмів та структури. Переважний розвиток зсувних процесів отримали у відкладах таврійської серії, які зазнають процесів деструкції та в умовах значного обводнення слугують основою для формування процесу зсуву, а також зсувні процеси у межах глинистих відкладів крейдяного віку. На характер обводнення порід впливають Тріщинні і тріщинно-карстові води, які згідно з тектонічною структурою регіону мають пластово-блоковий характер. Зони максимальної обводненості пов'язані із зонами підвищеної тріщинуватості, проникності та розущільнення.

У Середньому Придніпров'ї, згідно із сучасними уявленнями, виділяються два райони – Київський та Канівський, які відрізняються за геологічною будовою, неотектонічним режимом, а процеси гравітаційної природи мають значні відмінності. В Київському районі у неотектонічному плані найактивнішими є регіональні структури з різницею показників сумарних амплітуд рухів до 60 м. Показники середніх градієнтів швидкостей неотектонічних рухів становлять понад 0,01 (см/км)/тис років. Наявність у розрізі мергелів київської, алеверитів обухівської, пісків межигірсь-

кої та берекської світ палеогену, пісків новопетрівської світи, строкатих, бурих, червоно-бурих глин неогену та четвертинних лесоподібних суглинків створює передумови для формування структурних зсувів у неоднорідному середовищі багатоярусної будови. На схилах, де спостерігається відсутність у розрізі верств бурих і строкатих глин, а також піщаних палеоген-неогенових відкладів, формуються консеквентні зсуви. Канівський район належить до Канівського тектонічного блока-горсту. У межах Канівських дислокацій розвинуті складки-підкиди, зібрані в серії лусок, що зумовлює значне розчленування рельєфу та розвиток денудаційних процесів. Зсувні процеси пов'язані з юрсь-

кими глинами, що мають високе гіпсометричне положення і в умовах значної обводненості є поверхнею ковзання консеквентних та інсеквентних зсувів.

У результаті проведеного поглибленого геологічного аналізу підтверджено, що за реологічною поведінкою порід зсуви можна розділити на наступні типи: пружні, пружно-пластичні, в'язкі та в'язко-пластичні. Вони можуть формуватись у геологічних середовищах із різним орієнтуванням геологічної структури по відношенню до схилу та характеризуватись наступними ознаками (рис. 1).

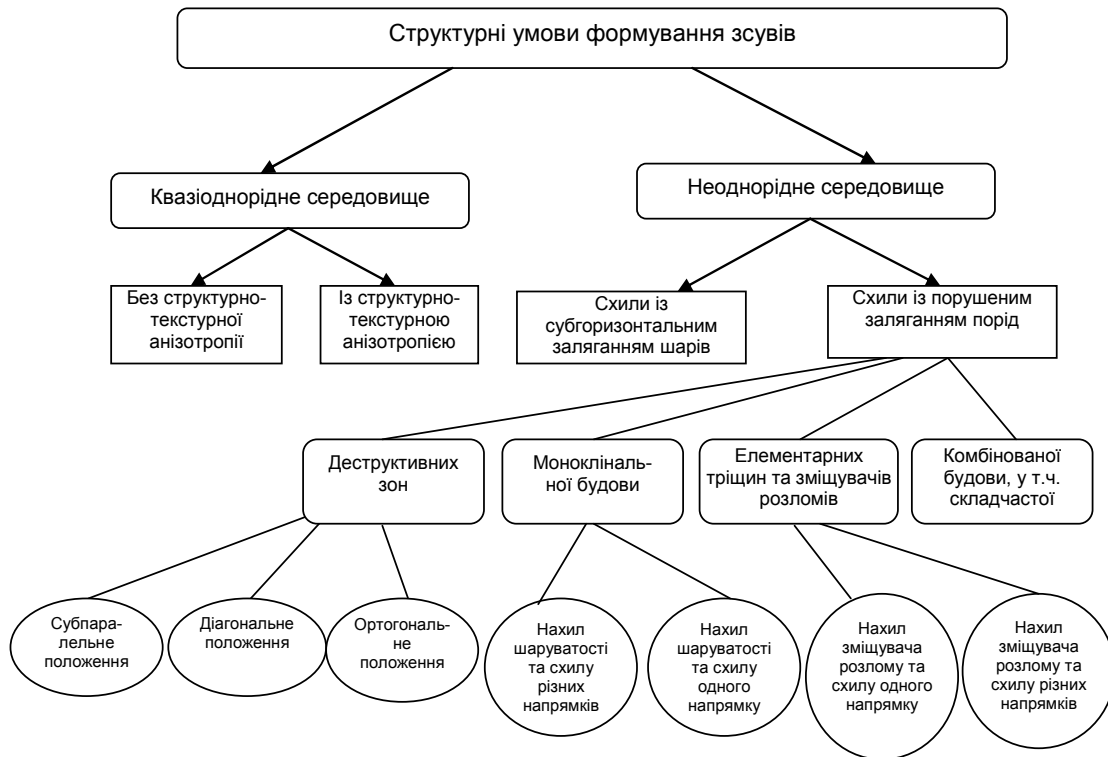


Рис. 1. Структурні умови формування зсувів та їх класифікація

Це можуть бути квазіоднорідні середовища, які характеризуються наявністю чи відсутністю структурно-текстурної анізотропії. При значних неоднорідностях у середовищі структурно-текстурна анізотропія відображається у формуванні площинних та лінійних структурно-текстурних елементів.

Більшість зсувів формується в умовах неоднорідних середовищ на схилах як із горизонтальним, так і з порушеним заляганням шарів. При порушеному заляганні шарів відзначаються процеси зсувоутворення на схилах із моноклінальною структурою, комбінованим характером будови та деструктивних зон. На відміну від елементарних тріщин та зміщувачів розломів, останні можуть мати самостійне значення для порушення стійкості схилів, тобто бути визначальним структурним фактором зсувоутворення в силу гідродинамічного режиму, механічних властивостей та цементації тектонітів, спряженості із супутніми процесами, наприклад, суфозією. Принципове значення має їх співвідношення із схилом: субпаралельне, діагональне, ортогональне. З цим пов'язана масштабність явищ та їх наслідки.

У районах із моноклінальною будовою важливе значення має шаруватість, що має різну орієнтацію щодо схилу. Для зсувоутворення важливі ситуації падіння схилу і шаруватості в один бік, у різні боки та проміжний випадок косої орієнтації. У цих ситуаціях формуються консеквентні та асеквентні зсуви. Первинна структурно-

текстурна анізотропія може бути виражена шаруватістю із турбідитною і градаційною ритмічністю (у флішодіних товщах). Компоненти ритмів різняться компетентністю окремих шарів. Особливий характер мають зсуви на схилах із комбінованою будовою, як одноповерхові, та двохповерхові. Останні визначають особливість протікання зсувних явищ у принципово різних ситуаціях, зокрема на схилах із наявністю фундаменту та потужної осадової товщі.

Така структура зсувних схилів визначає підходи і методи моделювання зсувної небезпеки. Слід зазначити, що найбільш результативним і універсальним методом є визначення напружено-деформованого стану породного масиву з огляду на вибір варіантів просторових моделей, врахування факторів та дозволяє виходити із особливостей об'єкту досліджень.

Висновки. Встановлено закономірності, головні механізми, фактори формування та класифікаційні ознаки зсувних явищ у межах модельних полігонів Карпат, Криму та Середнього Придніпров'я. Поглиблений геологічний аналіз водно-гравітаційних процесів у регіонах із складною гетерогенною геологічною будовою підтвердив пріоритетний характер виникнення структурних зсувів у реологічно різних геологічних середовищах та дав змогу створити нову класифікацію структурних зсувів та умов їх формування із визначальним впливом деструктивних зон. Така класифікація є осно-

вою побудови геолого-фізичних і математичних моделей зсувних схилів та наступного моделювання зсувної небезпеки на основі визначення напружено-деформованого стану схилів.

1. Гошовський С.В., Горда Є.Л., Рудько Г.І. Техногенно-екологічна безпека та інженерний захист територій від зсувів (на прикладі Карпатського регіону України за наслідками катастрофічної активізації 1998-1999 рр.). – К., 1999. 2. Демчишин М.Г. Современная динамика склонов на территории Украины: инженерно-геологические аспекты. – К., 1992. 3. Демчишин М.Г. Сучасна динаміка схилів на території України (інженерно-геологічні та екологічні аспекти) : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук : спец. 11.00.11 – "Конструктивна географія та раціональне використання природних ресурсів". – Івано-Франківськ, 1994. 4. Іванік О.М. Геолого-геоморфологічні чинники формування та активізації осувних процесів у межах нижньої течії р. Чорний Черемош (Флішеві Карпати) // Геол. журн. – 2010. – № 1. – С. 97–107.

5. Іванік О.М. Головні особливості формування та активізації структурних осувів в басейні річки Латориця (Східні Карпати) // Вісн. Київ. ун-ту. Сер. Геологія. – 2009. – Вип. 46. – С. 13–18. 6. Іванік О.М. Комплексні геолого-геоморфологічні дослідження чинників формування та активізації сучасних небезпечних геологічних процесів // Геол. журн. – 2008. – № 4. – С. 77–88. 7. Іванік О.М. Структурно-тектонічний контроль розвитку водно-гравітаційних процесів у межах Свалівського та Воловецького районів Закарпатської області // Геол. журн. – 2007. – № 3. – С. 81–86. 8. Ломтадзе В.Д. К классификации основных видов гравитационных явлений на склонах // Проблемы геомеханики. – 1976. – №7. – С. 143–146. 9. Маслов Н.Н. Условия устойчивости склонов и откосов в гидротехническом строительстве. – М.; Л., 1955. 10. Проблемы классифицирования склоновых гравитационных процессов / Емельянова Е.О., Тер-Степанян Г.И., Контцель В.В. и др.; под ред. Е.О. Емельяновой, Е.А. Толстых. – М., 1985. 11. Рудько Г., Якимів І. Закономірності та екологічний ризик розвитку небезпечних геологічних процесів Карпатського регіону України. – Івано-Франківськ, 1999.

Надійшла до редколегії 15.09.09

УДК 551.243:551.254(477.45)

О. Лукієнко, д-р геол.-мінералог. наук,
Д. Кравченко, канд. геол. наук

МІНІАТЮРНИЙ ПРИРОДНИЙ "ЕКСПЕРИМЕНТ" СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ПРИ ПЛАСТИЧНІЙ ЗСУВНІЙ ТЕЧІЇ ПРОДУКТІВ МІГМАТИЗАЦІЇ ТА ЙОГО ПОРІВНЯННЯ З ЛАБОРАТОРНИМ МОДЕЛЮВАННЯМ ТЕЧІЇ В'ЯЗКИХ РІДИН

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол.-мінералог. наук, проф. В.В. Шевчуком)

На прикладі однієї з ділянок Українського щита в межах Голованівської шовної зони виділено й досліджено невелику (площею близько 200 м²) зону високопластичної (наближеної до в'язкої) зсувної течії, яка в мініатюрі несе широкий спектр малих структурних форм, що забезпечили таку течію. Дане тектонічне утворення відзначається яскравою латеральною зональністю, яка маркується тектонофаціями V–X (за десятибальною шкалою). Загальною тенденцією відміченої зсувної течії є лінеаризація усіх структурних форм та тіл – їх упорядковане орієнтування відносно напрямку зміщення. Беручи до уваги внутрішню структурну організацію та розміри, дана зона кваліфікована як мініатюрний природний "експеримент" структуроутворення при пластичній зсувній течії, що може слугувати тектонотипом структур зсувної природи. Здійснено порівняння природних структурних форм, що проявлені у відзначеній зоні, із аналогічними формами отриманими при дуже повільній реверсній течії в'язких рідин в лабораторних умовах (використано дані експерименту Г. Оттіно). Встановлено, що отримані під час течії в'язких рідин структурні форми мають спільні риси з відзначеними нами природними, що, в свою чергу, свідчить про подібність їх механізмів.

Small area (about 200 m²) of high-plastic (to approximate viscous) shear flow have been investigated on the example of the area within Golovanevsk suture zone on the Ukrainian shield. It is a miniature example of wide range small structural forms provided by plastic flow. This tectonic formation has good lateral zonality, which marks tectonic facies from V to X (by ten-unit scale). The general feature of investigated shear zone is the linearization of all structural shapes and bodies, their orderly orientation relative to the direction of displacement. This zone has been qualified as a miniature natural "experiment" of structure formation through plastic shear flow. Therefore, we propose to consider this area as tectonic type of shear structures for pre-Cambrian shear-zones. Natural structural forms demonstrated on investigated area have been compared with similar forms obtained at very slow reverse flow of viscous liquids under laboratory conditions (experiment data used G. Ottino). Our investigation has been determined that viscous liquid structural forms are similar to natural structures. It indicated the similarity of forming mechanisms in nature and physical modeling.

Вступ. Під зсувною течією розуміється пластичний і навіть наближений до в'язкого рух твердої речовини в напрямку дії найбільших дотичних напружень. Течія подібного типу переважно відбувається в умовах *катазон*, яка за реологічними механізмами дислокаційних перетворень порід узгоджується з термальними умовами, що відповідають гранулітовій та амфіболітовій фаціям метаморфізму й ультраметаморфізму відповідно.

Найчастіше течія даного типу здійснюється по своєрідних в'язких розломах і відіграє важливу роль у дислокаційних перетвореннях геологічних середовищ. Але оцінка цієї ролі ще й сьогодні залишається дискусійною. Можливо це пов'язано з тим, що подібну течію з позицій гідродинаміки традиційно сприймають як безінерційну, тобто як надзвичайно повільну, що характеризується дуже низьким числом Рейнольдса (близько 10⁻¹⁵⁻²⁰), і відповідно неспроможною генерувати турбулентність, тобто створювати складчасті форми в нашому розумінні. Між тим, зсувна, на перший погляд безінерційна, течія в реальних, геологічних умовах, як свідчать літературні дані [4-7, 9-11, 13-18 та ін.] та дані досліджень у фанерозойських складчастих областях [7 та ін.] й Українському щиті [4, 5, 8, 10 та ін.], а також наведений нижче приклад її здійснення на Українському щиті, в метаморфічних й ультраметаморфічних середовищах обо-

в'язково супроводжується формуванням лінійно складчастих та інших структурних форм, які слід розглядати як результат ускладнення такої течії біфуркацією (розгалуженням напрямків розвитку та стрибкоподібною зміною параметрів системи [8, 9]).

Розглянемо процеси подібного структуроутворення більш докладно. І почнемо цей розгляд зі співставлення його з відомими даними лабораторного моделювання подібних процесів.

Лабораторне моделювання структуроутворення при течії в'язких рідин. До одного з ефективних таких моделювань належить експеримент Г. Оттіно [16], результати якого опубліковані в "Альбомі течії рідин і газів" М. Ван-Дайка [2]. Цей експеримент моделює механізми та форми реалізації зсувної течії на прикладі суспензії, яка складається з гліцерину, насиченого алюмінієвим пилом (подібна домішка, крім усього іншого, дозволяє відстежувати при спеціальному освітленні характер течії речовини). Такий експеримент здійснювався в прямокутній камері шляхом багаторазового знакозмінного зсування цієї рідини вздовж горизонтальної підшви та частково вертикальних стінок прямокутної камери (рис. 1). Слід відзначити, що вертикальні стінки камери обмежували рухи рідини з боків, що порушує нормальну об'єктивно складчастість на обох кінцях моделі й надає їй біпланового вигляду. То-