

СЕДИМЕНТАЦІЙНІ ІНДИКАТОРИ СУЧАСНИХ МОРФОДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА СКЕЛЯХ МАСИВУ “КАМІНЬ” (с. УРИЧ, СХІДНІ БЕСКИДИ, УКРАЇНСЬКІ КАРПАТИ)

Досліджено типи сучасних морфодинамічних процесів на скельному масиві “Камінь” у селі Урич (Східні Бескиди, Українські Карпати), який є пам’яткою природи та історико-культурним заповідником. Виявлено взаємозв’язки між сучасними проявами процесів та седиментологічними фаціями палеогенових порід ямненської світи. Вони формувалися у геодинамічних умовах Зовнішньокарпатського глибоководного океанічного палеобасейну і зазнали деформування на етапах акреції та орогенії в ході становлення Карпатської складчасто-покровної споруди. Головними методами досліджень були морфологічні, морфодинамічні, седиментологічні та літологічні. Сучасні морфодинамічні процеси на стінках скелі класифіковані за походженням, локалізацією у межах досліджуваного об’єкта та величиною покриття стінок скелі. За походженням морфодинамічні процеси представлені видами: розмокання і “віспа”; дезінтеграція; десквамація; лускування; лункування (ямковість); стільникове вивітрювання (ураженість формами honeycombs та alveoles); видування та вимивання; лінійна підповерхнева ерозія; біогенне площинне вивітрювання; біогенне лінійне вивітрювання; обвали блоків; руйнування уздовж різних типів тріщинуватості: тектонічної, бортового відпору, вивітрювання, напластувань; тріщинуватість за каскадною гравітаційною складчастістю. За величиною покриття стінок скелі виділено: мікропроцеси (локальні прояви), мезопроцеси середнього масштабу і мезопроцеси великого масштабу, із глибиною дезінтеграції від одного до десяти сантиметрів. Мікропроцеси та мезопроцеси середнього масштабу, які відбуваються на поверхнях скель, чітку обумовлені первинними седиментаційними структурно-текстурними рисами порід та їхнім літологічним складом. Для мезопроцесів великого масштабу домінують тріщинні парагенези субкарпатського та антикарпатського напрямів. Дослідження процесів руйнування скельного масиву “Камінь” важливі для визначення його збереженості як цінного об’єкта історичної, культурної та геотуристичної спадщини. Отримані результати свідчать, що окремі блоки скелі сильно уражені поверхневими процесами, на які накладаються глибокі полігенетичні тріщини. Це дає підставу для впровадження заходів щодо посилення стійкості скельного масиву.

Ключові слова: сучасні морфодинамічні процеси; геодинамічні палеоумови; седиментаційні риси порід; скельний масив “Камінь”; Урицькі скелі; Східні Бескиди; Українські Карпати.

Вступ

Скелі у Бескидах Українських Карпат – явище доволі поширене. Тут спостерігається близько десяти комплексів скель, пов’язаних із виходами на поверхню масивних пісковиків ямненської та вигодської світи палеогену. Найвідоміший серед науковців, краєзнавців і туристів Урицький комплекс скель, що засвідчує оцінка його привабливості та відвідуваності [Байрак і Теодорович, 2023]. В Урицькому комплексі налічується чотири групи скель, серед яких скеля “Камінь”, на якій побудована середньовічна фортеця “Тустань” і якій у 1994 р. присвоєно статус Державного історико-культурного заповідника.

Скельний масив як об’єкт геотуризму входить до проекту створення геопарку “Скелясті Бескиди” [Зінько, 2022], а також до геотуристичного шляху “Гео-Карпати”, розробленого в межах “Міжнародної програми транскордонної співпраці Польща –

Білорусь – Україна” [Геотуристичний..., 2013]. Морфологію скель і пов’язану з ними історію розглядають як цікаву атракцію у межах геотуристичних маршрутів Сколівськими Бескидами [Bayrak & Teodorovych, 2020]. Під час детальних інженерно-геологічних досліджень масиву “Камінь” різні автори з’ясували мінералого-петрографічний склад порід, фізико-механічні властивості, структурно-текстурні особливості, літогенетичні типи та характер тріщинуватості породного масиву [Волошин, 2012; Гавришків, 2008; Havryshkiv & Radkovets, 2020; Куліш і Корецька, 2018]. Зокрема, в результаті інженерних досліджень породи охарактеризовані змінним гранулометричним складом, специфічним цементом типу стиснення, високою закритою пористістю, низьким водопоглинанням, різним ступенем полігенетичної тріщинуватості [Волошин, 2012].

Загалом панує думка, що скелі утворилися унаслідок тектонічних піднять території й основними чинниками їхнього утворення і набуття нерівномірних форм стали селективне вивітрювання та денудація [Jahn, 1962]. Після експонування скелі формувалися безперервно під впливом вибіркового вивітрювання – як субаерального, так і підповерхневого, що керувалися розривами, а також завдяки великомасштабним процесам денудації [Migon, 2021; Migon & Duszynski, 2021]. На формування макроструктури порід вплинули високоенергетичні потоки в умовах седиментації, а мезо- і мікроскульптури поверхні скель сформувалися завдяки літології порід та зовнішнім чинникам (сонячному випромінюванню, інфільтрації дощової води, вітру) [Urban & Gornik, 2017]. Вважають, що стійкість скель до атмосферних впливів та ерозій зумовлена стисловою міцністю порід та абразивністю, які залежать насамперед від пористості, а також від кількості сполучного матеріалу, щільності упакування зерен та їх скелета [Urban, 2020]. З часом на пісковиках утворилася кора вивітрювання, яка захищає форму і мікрорельєф стінок скель від руйнування і деградації, які в природних умовах відбуваються повільно, уможливаючи послідовний розвиток нової, захисної кірки [Alexandrovicz, 2012]. Ми розглядаємо зовнішні процеси руйнування скелі, які зумовили її сучасні обриси та проводять до поступових змін.

Мета

Мета роботи – дослідити типи морфодинамічних процесів скельного масиву “Камінь” та виявити взаємозв’язки між ними і літодинамічними фаціями порід, які утворювалися у певних геодинамічних умовах Зовнішньокарпатського глибоководного океанічного палеобасейну.

Методи досліджень

Головні методи досліджень – морфологічні, морфодинамічні, седиментологічні та літологічні. Моніторить масив “Камінь” одна із авторок статті з 2011 р. Періодично, кожні два роки, ми здійснювали детальну фотофіксацію ділянок скелі. Для досліджень використано аерознімання з БПЛА моделі YH-19G Explorers (2019 р.), в результаті якого виконано детальне картографування скельного масиву.

Відповідно до актуалістичного та порівняльно-історичного методів пізнання геологічних процесів для вивчення розрізів ямненської світи використано седиментологічний аналіз. Він дав змогу в природних відслоненнях вивчати структурно-текстурні ознаки досліджуваних порід та ідентифікувати процеси їх транспортування й акумуляції і, отже, виділяти літодинамічні типи, що належать певним глибоководним фаціям середньопалеоценового Карпатського флішового палеобасейну, за даними біостратиграфічних досліджень О. Гнилка

[Гнилко та ін., 2022]. Відповідно до сучасних методик для глибоководних океанічних обстановок типовими є відклади із субвертикальних седиментаційних потоків (пелагіти і геміпелагіти); з гравітаційних потоків каламутних осадов (гравітати: турбідити, грейніти, дебрити) [Leszczynski, 1981; Sedimentary..., 1986; Stadnik & Waśkowska, 2015]. У відкладах ямненської світи переважає частина потужності розрізів, що належить гравітатам. У лабораторних умовах вивчено структурні риси уламкових порід, що є гравітатами, проаналізовано їх гранулометричний склад, форму та ступінь сортованості теригенних компонентів. За допомогою петрографічного аналізу вивчено склад каркаса та цементу псамітових петротипів. Результати опрацьовано на класифікаційних діаграмах.

Загальна характеристика

Скельні форми в Бескидах творить неширока, але протяжна смуга пластів міцних порід палеоценового періоду, які представлені скельними останцями, урвищами (відслоненнями), розколинами та уступами водоспадів. Пласти порід простягаються із північного-заходу на південний схід переривчастими неширокими смугами. Потужність порід становить 200–350 м [Державна..., 2007; Гнилко та ін., 2020]. За нашими спостереженнями, ширина виходів пластів на денну поверхню 50–100 м, а висота 7–45 м.

Досліджувана територія належить до Скибової зони – одного із найбільших структурних покривів Карпатської покривно-складчастої споруди [Крупський, 2001]. Скибовий покрив є фронтальною структурною одиницею Зовнішніх Карпат, які утворюють флішево-моласову акреційну призму, насунену до північного сходу на утворення Передкарпатського прогину. Характерною особливістю внутрішньої будови цього покриву є наявність лускоподібних структурних форм насунного типу [Кравчук, 2021]. У фронтальних частинах скиб, які утворюють покрив, залягають крейдово-палеоценові породи, насунуті на молодші відклади. Переважно крейдово-палеоценові породи формують стиснені перекинуті антикліналі, а молодші еоцено-неогенові комплекси – синкліналі.

Територія розташована в межах низькогірних хребтів, де переважають абсолютні висоти вершин 820–850 м. Абсолютна висота підніжжя скелі Камінь становить 580 м (рис. 1). Відносно підвищення скельного масиву над дном найближчої долини р. Уричанки – 60 м. Висота оголення скельних порід Каменю сягає 37 м. Скельний масив належить до морфологічного класу скельний останець, у якому поєднується тип скельної стіни зі шпилеподібними вершинами [Bayrak, 2019]. Масив складається із двох скельних стін і нагадує літеру “Н”, розвернуту і видовжену в напрямі 330°, між якими на висоті 18 м від підніжжя є невеликий майданчик. Він власне був

осовою для середньовічної фортеці “Тустань”. Найвища вершина масиву називається Великий Камінь, на північний захід від неї – Окремий Камінь, найдовша стінка у 60 м – Велике Крило (рис. 2, а).

Скелю формує товща пісковика, яка виходить на денну поверхню у вигляді пластових трикутників. Азимут падіння пісковиків 220° . Кут падіння пластів становить $60\text{--}70^\circ$. Пісковики належать до ямненської світи палеоцену (P_{jm}). Вони формувалися 56–66 млн років тому на глибині

понад 3 000 м у давньому океані Тетіс, про що свідчать рештки глибоководної мікрофауни у відкладах світи. Скельний масив складений неоднорідними за літологією породами, серед яких виділяються три основні літологічні відміни: гравеліти; дрібно-середньозернисті кварцові пісковики із домішкою гравійного матеріалу до 10 %; порівняно однорідні дрібнозернисті та середньозернисті кварцові пісковики практично без домішок [Волошин, 2012].

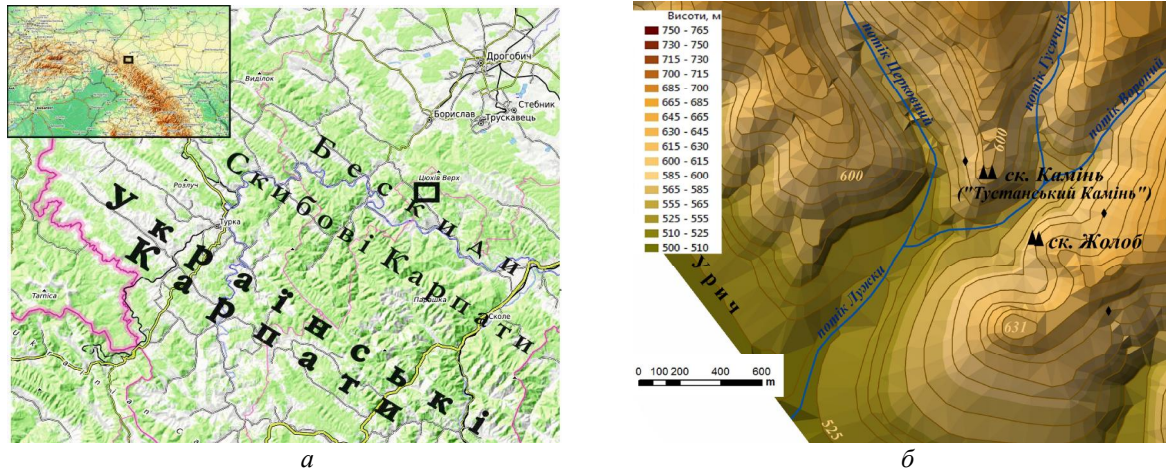


Рис. 1. Місцезнаходження масиву “Камінь” у Бескидах Українських Карпат (а) та в межах сусідніх хребтів (б)

Скибовий покрив має неперервний стратиграфічний нижньокрейдово-нижньоміоценовий розріз. Ямненська світа в цьому розрізі підстелена стрийською світою (турон-палеоцен), представлена різномісним флішем із горизонтами строкатоколірних аргілітів (~ 1000 м), та узгоджено перекривається манявською світою (верхи танету-іпр) тонко-середньоритмічний зелений та/або строкатоколірний фліш (до 400 м). Узгодження і рівні контакти між літофаціями свідчать про стабільні тектонічні умови – поступові опускання і неперервність накопичення осадов. Ямненська світа (зеландій-танет) – це пісковики, груборитмічний фліш (350 м) із яремчанським горизонтом (до 40 м) строкатоколірних (вишнево-червоних і зеленкувато-сірих) аргілітів у підшві [Генералова та ін., 2022]. За біостратиграфічними дослідженнями ямненська разом зі стрийською і манявською світами формувалися у Зовнішньокарпатському глибоководному океанічному палеобасейні [Гнилко та ін., 2021].

Седиментологічні дослідження дають змогу розпізнати серед утворень ямненської світи такі літодинамічні (генетичні) типи: геміпелагіти та пелагіти (червоні, зелені гомогенні, тонколаміновані аргіліти), грубозернистий фліш – турбідити із текстурами Боума, греїніти, іноді дебрити (ямненські масивні псаміти). Літодинамічні типи відтворюють характер гідродинамічних потоків позашельфових океанічних областей: (гемі)пелагіти –

осади субвертикальних потоків типу “час-тинка за частинкою”, турбідити, греїніти, дебрити (гравітити) – гравітаційні перевідкладені осади [Гнилко та ін., 2021; Sedimentary..., 1986].

Пісковики ямненської світи палеоцену, які утворюють скельний масив “Камінь”, формувалися під час океанічного етапу седиментогенезу в крейдово-палеоценовому періоді, коли на цій території переважали тектонічні опускання. Протягом 10 млн років існування морського басейну на його дні накопичувалися осадові товщі пісків та глинистого матеріалу. Постачання матеріалу відбувалося як за рахунок денудації зі скелястих архіпелагів островів-кордильєр, так і у результаті осадження із каламутних потоків рік. Потужні товщі пісків накопичувалися внаслідок діяльності епізодичних турбідитних потоків, здебільшого у глибоководній частині морського басейну, і поступово цементувалися у стадію діагенезу та катагенезу, перетворюючись на міцні породи. Під час орогенного етапу горотворення у міоцен-пліоценовий час пісковики були підняті на денну поверхню [Байрак і Гаврилів, 2011; Крупський, 2001; Ступка, 2010].

Дослідження відслонень ямненської світи масиву “Камінь” дали змогу виявити, що воно представлене товстошаруватими масивними пісковиками, потужність окремих шарів яких становить 1,2–1,7 м. Пісковики на звітній поверхні сірого кольору, на свіжому сколі – світло-сірі, жовтувато-

сірі. Структура порід змінюється від алевритової до псамітової, дрібнопсефітової з пудлінговими включеннями більших кластолітів. Текстура пісковиків масивна, скісношарувата, нормально градаційна, зворотногоградаційна, симетрично шарувата (від алевроліту через грубозернистий пісковик або гравійний жорствяник знову до алевроліту) та симетрично маятникова шарувата (від грубозернистого пісковика або гравійного жорствяника до алевроліту і знову до грубозернистого пісковика). Вивчення структурно-текстурних рис ямненської світи сприяло виокремленню різних літологічних типів відкладів: аргілітів, шаруватих пісковиків та алевролітів, масивних пісковиків, пісковиків з олістолітами, пісковиків із коняреціями (?).

Аргіліти вишнево-червоні та зеленкувато-сірі тонколаміновані. Вони за седиментологічним аналізом відповідають літодинамічним типам геміпелітів та пелітів. Аргіліти утворюють строкаколірні горизонти. В підшві ямненської світи відомий яремчанський горизонт, в покрівлі – над'ямненський. Аргіліти утворюються як осади субвертикальних потоків типу “частинка за частинкою”, характеризуються тонкою горизонтальною шаруватістю, вірогідно, за рахунок складу

осадових компонентів. Вони демонструють утворення фонові седиментації, яка, за даними океанографів, відбувається в ультраповільному режимі (швидкість < 2–0,5 мм/1000 років). За умов ендегенної активності седиментація супроводжується проявами гідротермальних флюїдів, що виражається у пластах мангано-залізистої мінералізації (яку ми знайшли в околицях “Тустанського” Камню).

Шаруваті пісковики являють собою середньотовстошаруваті турбідити із елементами текстур секвенції А. Боума T_{ab} , в деяких випадках спостерігаються елементи S_3 або S_2 секвенції Д. Лоу (потужність до 1,5–1,7 м) (рис. 2, б). Такі структурно-текстурні елементи є результатом діяльності гравітаційного перевідкладення теригенних осадів до підніжжя континентального схилу високогустинними турбідитними / зерновими або дебрисними потоками, які іноді були породжені підводними гравітаційними зсувами. Уламковий матеріал пісковиків представлений кварцом (75–95 %), польовим шпатом, слюдою. Зерна різного ступеня обкатаності. Цемент глинисто-кременистий, іноді з хлоритом, базального або контактового типу цементації [Havryshkiv & Radkovets, 2020, с. 118–119].



a



b

Рис. 2. Загальний вигляд скельного масиву “Камінь” із півдня: зліва Великий Камінь, справа – Велике Крило (а); фрагмент секвенції А. Боума ямненських пісковиків з елементами T_{ab} (б). Простежується початкова стадія розвитку звітрування типу “лускування” і “ніздрювання”

Серед зеленкувато-сірих пісковиків часто трапляються різнозернисті патульні (хлидолітові) середньозернисті або алевропелітові з жорствою поліміктові відміни. Вони погано відсортовані й містять необкатаний матеріал. На класифікаційній діаграмі піщаних порід за складом уламків досліджені породи потрапляють у поля граувак та аркозо-граувак (кварцові грауваки, полевошпатові грауваки) (рис. 3).

Масивні пісковики мають чіткі поверхні нашарування. Потужність перші метри. В них відсутня градаційна, скісна та інша шаруватість, структура характеризується поганою відсортованістю клас-

тичного матеріалу, наявністю пудингової структури (великі уламки серед псамітових зерен), відсутністю глинистого матриксу. Ці утворення за гідродинамічними умовами формування можна зарахувати до зернових потоків (грейніти). Крім них трапляються відклади грязекам'яних потоків (дебрити) (рис. 4). Дебрисні потоки супроводжують великі зсуви, сукупність яких, у підсумку, утворює олістостроми. Детальне обстеження скельних виходів дає змогу спостерігати великі олістоліти пісковиків ямненського виду із текстурами “снігової кулі”, що занурені у матрикс



Рис. 3. Ямненська світа. Пісковик різнозернистий, погано сортований, алевритистий із гравієм, жорствою поліміктовий, грауваковий. У складі уламкового матеріалу переважають: кварц (до 50 % від маси уламків), глауконіт (10–15 %) та літоїди (15–20 %). Цемент глинисто-кременистий з хлоритом, тип цементації поровий. Фото шліфа. Нік. $\times 36$. 136^x. Фото О. Костюка



Рис. 4. Дебрит. Ямненська світа, р. Кам'янка. Зелений метаморфічний сланець Лежайського масиву (у центрі на першому плані)

Наведені дані дають змогу на ілюстративних відслоненнях скельного масиву “Камінь” продемонструвати насичену тектонічну історію розвитку Зовнішньокарпатського залишкового флішового басейну, який індивідуалізувався у петлеподібній затоці. В ранній крейді в басейні в анаеробних умовах нагромаджувались темні мули. Починаючи з пізньої крейди, циркуляція вод істотно покращилась. Відтоді в басейні панувала епізодична гравітаційна (турбідитна) седиментація, яка чергувалась із фоновим геміпелагічним осадконагромадженням. Біостратиграфічні дослідження свідчать, що процеси турбідитної, фонові та супровідної седиментації відбувались в глибоководній обстановці схилу – підніжжя континентальної окраїни [Гнилко та ін., 2021]. В кінці еоцену фіксується обміління Карпатського басейну, почала формуватися орогенна споруда Карпат. У

результаті тектонічних піднять відклади були виведені з режиму осадонагромадження на денну поверхню. Процеси активного орогенезу тривали від кінця олігоцену протягом міоцену та продовжуються дотепер, що відповідно зумовило поступове підняття і зміну гіпсометричного положення шарів ямненського пісковика. В результаті того, що на Передкарпатті були сформовані товщі молас міоценового віку, припускаємо, що розріз Скибової зони в складі акреційної призми утворив невулканічну споруду, підготовану для впливу на неї зовнішніх екзогенних процесів. За даними різних авторів, пісковики були експоновані на денну поверхню і зазнавали вивітрювання і денудації з початку плейстоцену, але особливо інтенсивно це відбувалося під час останнього з'юрмського зледеніння, яке частково вплинуло і на Карпатський ороген [Alexandrovicz, 2008; Urban et al., 2015].

Результати досліджень

Ми дослідили скельний останець “Камінь” на предмет проходження у його межах морфодинамічних мікро- і мезопроцесів, які призводять до руйнування його поверхні та стінок. Стінки скельного масиву характеризуються різною вивітрілістю та розчленованістю залежно від типів літодинамічних фацій порід та їхнього експонування на денній поверхні.

Виділимо такі типи мікро- і мезопроцесів у межах скельного масиву

А. За походженням: розмокання і “віспа” – відокремлення окремих зерен; дезінтеграція – перебування частини матеріалу в напіввідокремленому стані; десквамація; лускування (дрібна шаруватість уздовж літофаціальних прошарків); лункування (ямковість); ніздрювання (стільнікове вивітрювання); видування та вимивання; лінійна підповерхнева ерозія; біогенне площинне виві-

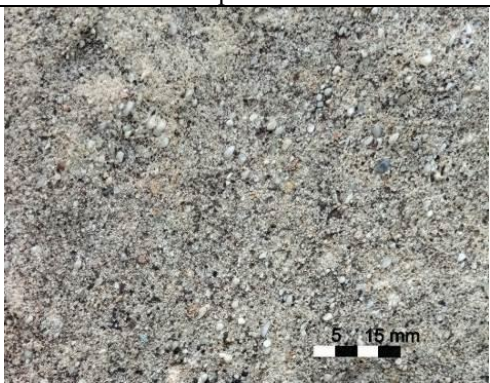
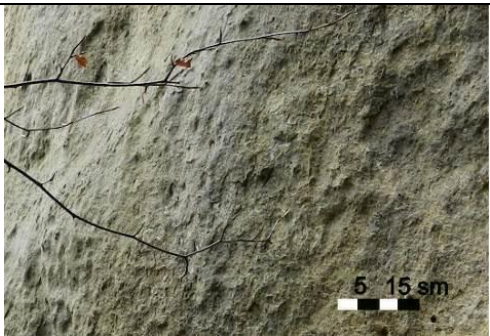
трювання (роз’їдання мохами і лишайниками); біогенне лінійне вивітрювання (уздовж коренів рослин, які ростуть у тріщинах); обвали блоків; руйнування уздовж таких типів тріщинуватості: тектонічної, бортового відпору, вивітрювання, напластувань; тріщинуватість за каскадною гравітаційною складчастістю (табл. 1).

Б. За локалізацією на поверхні: площинні, лінійні, точкові процеси.

В. За величиною покриття стінок скелі: мікропроцеси (локальні прояви), мезопроцеси середнього масштабу (охоплюють меншу частину стінки скелі) та мезопроцеси великого масштабу (відбуваються на половині чи більшій частині стінки скелі) (табл. 2). Глибина дезінтеграції поверхні скель у багатьох випадках невелика – від одного до десяти сантиметрів, дуже глибоко проникають різні тріщини.

Таблиця 1

Види мікро- і мезопроцесів у межах скельного масиву “Камінь”

	Назва процесів	Зображення
1	Розмокання і “віспа”	
2	Дезінтеграція поверхні	
3	Десквамація	

	Назва процесів	Зображення
4	Лускування	
5	Лункування	
6	Ніздрювання (стілникове вивітрювання)	
7	Видування та вимивання	
8	Лінійна підповерхнева ерозія	

Продовження табл. 1

	Назва процесів	Зображення
9	Біогенне площинне вивітрювання	
10	Біогенне лінійне вивітрювання	
11	Обвали блоків	
12	Тріщинуватість тектонічна	
13	Тріщинуватість напластувань моноклінальна	

Закінчення табл. 1

	Назва процесів	Зображення
14	Тріщинуватість бортового відпору (гравітаційного зміщення блоків)	
15	Тріщинуватість вивітрювання	
16	Тріщинуватість напластувачь горизонтальна	
17	Тріщинуватість за каскадною гравітаційною складчастістю	

Таблиця 2

Взаємозалежності між різними типами морфодинамічних процесів скель

	Точкові	Лінійні	Площинні
Мезопроцеси великого масштабу	Обвали	Лінійна підповерхнева ерозія; тріщинуватість: напластувачь; тектонічна; гравітаційна; вивітрювання; каскадна гравітаційна складчастість	Дезінтеграція; лункування; ніздрювання; видування та вимивання; біогенне площинне вивітрювання

Продовження табл. 1

	Точкові	Лінійні	Площинні
Мезопроцеси середнього масштабу	Десквамація; ніздрювання; обвали	Лускування; лінійна ерозія; біогенне лінійне вивітрювання; тріщинуватість: напластуваль; гравітаційна; вивітрювання; каскадна гравітаційна складчастість	Розмокання і “віспа”; дезінтеграція; десквамація; лункування; ніздрювання; видування та вимивання; біогенне площинне вивітрювання
Мікропроцеси	Десквамація; ніздрювання	Лускування; лінійна ерозія; тріщинуватість напластуваль і вивітрювання; біогенне лінійне вивітрювання	розмокання і “віспа”; дезінтеграція; десквамація; біогенне площинне вивітрювання

Процеси вивітрювання типу “розмокання і віспа” відбуваються завдяки різним властивостям каркаса та цементу в складі пісковика. Для Урицьких скель характерний кремнієвий цемент типу стиснення [Волошин, 2012] або контактний, який зумовлює високу пористість порід. Пористість сприятлива до потрапляння та акумуляції вологи, що є додатковим чинником вивітрювання. Волога руйнує породу, сприяючи дезінтеграції цементувальної речовини. На поверхні масиву виокремлюються міцні мінерали каркаса, утворюючи зернисту структуру. Поверхня пісковика нерівномірна, має вигляд “віспи” – зерна породи розущільнені через низький ступінь цементзації, легко видаляються. Цей тип вивітрювання розвинений на частинах стінок скельного масиву, дезінтеграція поверхні сягає 1 см, тому його зараховуємо до площинних мікро- і мезопроцесів середнього масштабу (див. табл. 2).

Процеси типу “дезінтеграція поверхні” характерні для літотипів грейнітів (утворених унаслідок літифікації зернистих потоків), які не мають виражених текстур Боума. На поверхнях цього типу рельєфними стають внутрішні приховані текстурні елементи грейнітів. Під час вивітрювання у них проявляється нерівномірність внутрішньої будови у вигляді горбкувато-ямкуватої поверхні. Дезінтеграція породи сильніша, ніж у попередньому типі вивітрювання: тут більша сукупність частинок підготовлена до видалення з поверхні. Цей тип процесів притаманний затіненим від сонця стінкам скелі. Дезінтеграція поверхні сягає кількох сантиметрів, трапляється на великих ділянках скелі, так і локально, тому їх зараховуємо до мезопроцесів великого і середнього масштабів та мікропроцесів.

Процеси типу “десквамація” характерні для освітлених ділянок скелі. Вдень зовнішні прошарки пісковика нагріваються сильніше, ніж внутрішні, тепло поступово передається внутрішнім прошар-

кам, а в нічний час зовнішні прошарки швидко остигають, коли внутрішні ще нагріті. На стику різних температурних фронтів відбувається відшарування частин прошарків. Це, безумовно, контролюється внутрішньочастинними текстурами пісковика. Цей тип процесів вивітрювання трапляється локально, у вигляді окремих плям на стінках південних експозицій скелі, тому їх зараховуємо до мікро- та мезопроцесів середнього масштабу.

Процеси типу “лускування” (дрібношаруватість) розвиваються по елементах седиментаційних текстур секвенцій Боума, які відповідають або елементу В – нижній горизонтальний інтервал, де перешаровуються здебільшого середньозернисті частинки пісковика (див. рис. 2), або елементу D – верхній горизонтальний інтервал, складений дрібнозернистими пісковиками або алевролітами. Перебуваючи на денній поверхні, швидше вивітрюються контакти між інтервалами секвенцій, які відрізняються структурою та текстурою. Цей тип вивітрювання належить до мезо- і мікропроцесів, розвинених локально, і здебільшого лінійних, іноді точкових.

Процеси типу “лункування” розвиваються там, де поширений гравітаційний перевідкладений матеріал. Під час формування осаду на морському дні звичними були гравітаційні зсуви накопичених відкладів. Сформувалися зсувні тіла із характерними структурно-текстурними елементами у вигляді асиметричних складок зминання. Під час експонування на денну поверхню ця ділянка пісковика вивітрюється по контактах мікрозминань, утворюючи виїмки – лунки. Глибина лунок сягає 5–10 см. На границях лунок видно чіткі ребра-сколи. Це свідчить про те, що у будові пісковика беруть участь міцні мінерали, зокрема, кремністий цемент. Цей тип процесів трапляється на великих фрагментах стінок скелі, тому зараховуємо їх до мезопроцесів великого і середнього масштабів.

Процеси типу “ніздрювання” більш відомі як стільникове (коміркове) вивітрювання, представлене формами *honeycombs* і *alveoles*. Розмір форм коливається від 2 до 10 см у діаметрі, глибина 1–5 см. Трапляються поодинокі глибокі форми (див. п. 6 табл.1) та групи форм, щільність яких сягає 30 шт/м² [Bayrak & Zinko, 2023]. Вони розташовані переважно на затінених від сонця ділянках скелі, але найрозвиненіші на стінці східної експозиції Великого Крила. Головними чинниками утворення форм вважають дію температурного або хімічного вивітрювання (розчинення карбонатного цементу), вплив капілярної вологи і крапель дощу [Adamovic et al., 2015; Mol & Viles, 2012; Paradise, 2015]. У пустелях та на узбережжях кристали солей, зростаючи, розривають зерна породи, утворюючи аркади альвеол або великі за розмірами форми – тафони [Filippi & Bruthans, 2018; Turkington & Philips, 2004]. В утворенні форм беруть участь як фактори організації, так і фактори розпаду елементів, які відображають розподіл напруги в масиві гірських порід і гідравлічному полі [Migon, 2022]. Вважаємо, що у наших умовах основним чинником утворення форм стільникового вивітрювання є волога. За високої відносної вологості, характерної для гір, вона потрапляє у пори породи і триваліший час тримається на затінених ділянках стінок скелі. У холодні періоди активізується морозне вивітрювання: волога замерзає / розмерзається у порах і розширює їх, сприяючи формуванню пустот. Якщо первинна поверхня нерівна унаслідок літологічних структурно-текстурних особливостей, то формування альвеол відбувається інтенсивніше. Стільникове вивітрювання ми зараховуємо до мезо- і мікропроцесів точкового розташування, локальних мезопроцесів площинного поширення. Вважаємо їх формою інтенсивнішого вивітрювання, ніж тип “дезінтеграція поверхні”.

Мезопроцеси типу “видування та вимивання” відбуваються на поверхні пісковика, який не вкритий кіркою вивітрювання. Колір таких ділянок – жовтувато-сірий і жовтуватий, який чітко виділяється на фоні сірого кольору звичайної поверхні інших ділянок пісковика. Вивітрювання розвивається на свіжих сколах після видалення частини поверхневого матеріалу. Товщина вивітрілого шару сягає кілька міліметрів, пилуваті частинки і зернини пісковика перебувають у напіввідокремленому стані, так що поривисті вітри чи сильні зливи постійно видаляють їх із поверхні. Характерною рисою таких ділянок є наявність шлейфу вивітрілого матеріалу в підніжжі скельних блоків.

Процеси лінійної підповерхневої ерозії розвиваються вздовж субвертикальних тріщин, верхня частина яких часто лійкоподібна. Під час опадів

вода, стікаючи, розподіляється не по всій площині скелі, а концентрованим стоком сходять вниз, вибираючи собі простір вздовж різних тріщин. Вода захоплює вивітрілі частинки пісковика всередині тріщин і виносить їх назовні. Підтвердженням того, що процес відбувається, є свіжі конуси винесення біля основи тріщин. Біля тріщин, які охоплюють всю поверхню скелі, конус винесення завдовжки кілька метрів, а на малих ділянках тріщин такі конуси сягають кількох десятків сантиметрів. Це свідчить про те, що лінійна ерозія почала розвиватися порівняно недавно. В масиві “Камінь” на площі оголення порід 6 тис. м² є тільки чотири ділянки, де відбувається інтенсивна лінійна ерозія, на відміну від мезозойського масиву Столових гір (Польща), де конусів винесення і піщаних покривів у підніжжі скель внаслідок ерозії спостерігається у десятки разів більше [Duszynski et al., 2016].

Біогенне площинне вивітрювання розглядаємо як мікро- і мезопроцеси великого і середнього масштабу. Воно пов’язане із розвитком на поверхнях скель мохів і лишайників (у моховому покриві домінують *Hypnum cupressiforme* та *Homalothecium sericeum*, а серед лишайників виділяються *Lecanora rupicola* і *Phlyctis argena*). На верхніх ділянках скелі лишайники поки не чинять руйнівного впливу, порівняно із нижніми, вологішими і затіненишими ділянками, на яких почали відбуватися процеси злущування. Власне зростання впливу лишайників виявлено на ділянках біля основи скелі (див. п. 9 табл. 1). Поверхня скелі набуває нерівномірного ямкового вигляду із округлими виїмками до 5–6 см в діаметрі. Поверхня під мохами поки не зазнає відчутного вивітрювання: мохи створюють щит, під яким температурні контрасти відчутні мало. Товщина вивітрілого прошарку під мохами сягає кількох міліметрів. У разі зміни зовнішніх умов такий прошарок буде швидко видалений, а дезінтеграція охопить глибші шари.

Біогенне лінійне вивітрювання відбувається вздовж тріщин різного генетичного типу, коренева система рослин, які проростають на тріщинах, поглиблює та розширює їх (рис. 5). Біологічне вивітрювання підготовлене попередніми процесами фізичного та хімічного вивітрювання, які можуть відбуватись одночасно. Хоча три роки тому зусиллями працівників історико-культурного заповідника всі деревні рослини були видалені зі стінок масиву, проте залишається велика маса кущової та трав’янистої рослинності, яка, проникаючи у порожнини тріщин, спричиняє їх збільшення.



Рис. 5. Зростання рослинного покриття в тріщинах на стінці південно-східної експозиції масиву “Камінь”: *а* – 2011 р., *б* – 2023 р.

Обвали блоків. Скеля розбита горизонтальними і вертикальними тріщинами на матрацеподібні окремість. Морфологія скелі така, що чим вище розташована її ділянка, тим вона вужча і глибше розчленована тріщинами. Вершини Великого Каменю, Великого крила, Окремого Каменю складаються з відокремлених блоків, поодинокі форми яких внаслідок вивітрювання вже відокремлені від основи. Достатньо невеликого підземного поштовху (інтенсивність прогнозованих сейсмічних впливів для району м. Сколе становить 6 балів), щоб вони обвалилися. Таких підготовлених до обвалення блоків біля вершини масиву ми нарахували вісім. Прикладом також є обвал блока біля вершини Великого крила, який зруйнував частину середньовічної кам'яної кладки. Близько десятка великих і малих уламків розташовані у підніжжі скелі зі східного та південного боку, а на стінках скелі залишаються рівні ділянки поверхонь відриву. Іноді вони ще не встигли покритися кіркою вивітрювання і по них розвиваються процеси осипання. Наявність більше ніж кубометра уламків навколо масиву свідчить про те, що процес обвалювання досі активний і є одним із найнебезпечніших для відвідувачів історико-культурного заповідника.

Тріщини у породному масиві були об'єктом інженерно-геологічних досліджень для визначення ступеня збереженості скельного масиву як основи історико-культурного заповідника [Волошин, 2012; Куліш і Корецька, 2018]. Процеси, які розвиваються вздовж різних генетичних типів тріщин – тектонічних, гравітаційних (бортового відпору), вивітрювання і літологічних, мають схожі чинники і подібний перебіг. Ці процеси залежать від місцезположення тріщин, їхньої зімкнутості, вигляду стінок, наявності та кількості заповнювача у відкритих тріщинах [Бубняк та ін., 2007].

Нагадаємо, що фізичне звітрювання чутливе до коливання добових та сезонних температур. Із підвищенням температур відбувається нагрівання мінералів, які входять до складу породи. Різні мі-

нерали характеризуються неоднаковими коефіцієнтами об'ємного та лінійного розширення, що сприяє виникненню місцевого тиску, який руйнує породи. Найбільш руйнівний тиск фіксують на контакті різних мінералів та порід. У разі чергування нагрівання та охолодження між мінералами та літологічними відмінами порід утворюються тріщини. В тріщини потрапляє вода, яка створює капілярний тиск, що сприяє руйнуванню породи. Зруйнована порода може як пропускати, так і утримувати воду, що збільшує поверхню, дотичну до води, газів, органічних речовин. Неоднорідні структури та текстури пісковиків ямненської світи, яка характеризується зазначеними літодинамічними типами, – сприятливі комплекси для процесів вивітрювання різного масштабу, які проявляються саме вздовж тріщин.

Характерними ознаками *тектонічних тріщин* є: витриманість їхнього простягання узгоджено до насуву Карпат (310–330°); утворення взаємоперпендикулярних систем, які січуть зверху донизу шари породи. Їх закладання здебільшого субвертикальне. Переважають відкриті тектонічні тріщини, трапляються і закриті. Найбільше ними розчленоване Велике Крило на поперечні блоки. Між шарами порід Великого та Окремого Каменів відкриті тектонічні тріщини розширили люди до утворення гrotів. У відкритих тріщинах накопичується дрібнозем, уламки порід у стані нестійкої рівноваги, тріщини також окупує рослинність, що сприяє активному вивітрюванню їхніх стінок.

Тріщини бортового відпору зумовлюють *гравітаційне зміщення блоків* і здебільшого субвертикальні, як і тектонічні. Незважаючи на морфологічну подібність із тектонічними, природа їх утворення інша: формуються внаслідок розвантаження порід у разі видалення нижнього упору, коли тангенціальна (зсувальна) сила більша за нормальну (притискальну). Їх характерна риса – клиноподібність, тобто вони звужуються в напрямі від верхньої до нижньої ділянки скелі, а також зале-

жать від гіпсометричного положення: на пригребеневій частині ширші, ніж у підніжжі схилу. Саме вздовж них відбувається розсування скельного масиву вниз по схилу.

Тріщини вивітрювання виникають внаслідок фізичного і біологічного руйнування масиву порід. Морозне вивітрювання, дія вологи (для Карпат характерна висока відносна вологість упродовж більшої частини року), просочування атмосферних опадів і коренів рослин у приповерхневі шари призводять до розтріскування пісковиків. Характерною ознакою тріщин вивітрювання є те, що вони порівняно короткі, без суцільного трасування, з відкритих переходять у закриті й зовсім зникають. Тріщини спрямовані по-різному: мають вертикальний, діагональний та горизонтальний напрям. Вертикальні та іноді діагональні тріщини вивітрювання містяться здебільшого у привершинній ділянці скелі та є відкритими, без заповнювача. Горизонтальні та діагональні тріщини часто зімкнуті, на їх розвиток більше впливає підвищена вологість і морозне вивітрювання. Різнонапрямлені тріщини спричиняють відокремлення і підготовку до обвалів блоків нестійких порід. Загалом, тріщини вивітрювання розвиваються між літофаціальними неоднорідностями порід. Вздовж вертикальних тектонічних, бортового відпору і тріщин вивітрювання циркулюють води під час

випадання атмосферних опадів, накопичується сніг у зимові періоди, що є найбільшим чинником їхнього розширення і руйнування стінок.

Літологічні або тріщини напластувань січуть скельний масив здебільшого горизонтально. Вони утворилися внаслідок нерівномірного перетворення піщаних товщ у стадію діагенезу та відокремлення шарів, які лежать вище і нижче. Горизонтальні тріщини здебільшого зімкнуті. Великий та Окремий Камені пронизані літологічними вертикальними тріщинами, припіднятими внаслідок тектонічних насувів під час орогенезу. Шари пісковика, які залягають горизонтально, були перекинуті майже вертикально (кут падіння пластів $\sim 70^\circ$), на них наклалися тектонічні тріщини і нині це найширші ділянки між пачками порід із різним заповнювачем (рис. 6). Ширина розкриття 0,5–1,3 м. Заповнювач представлений уламками порід та дрібноземом. Одна така тріщина йде вздовж Великого Крила, під поверхнею скельної брили, по ній відбуваються процеси дезінтеграції та вимивання матеріалу, про що свідчать свіжі конуси винесення білуватого піску у південній частині Крила (під атракцією заповідника – дзеркалом). Заглиблення на стінках тріщин є тими місцями, де активізуються процеси вивітрювання і денудації скель (рис. 7). Що густіше скеля розчленована тріщинами, то менша стійкість масиву до вивітрювання

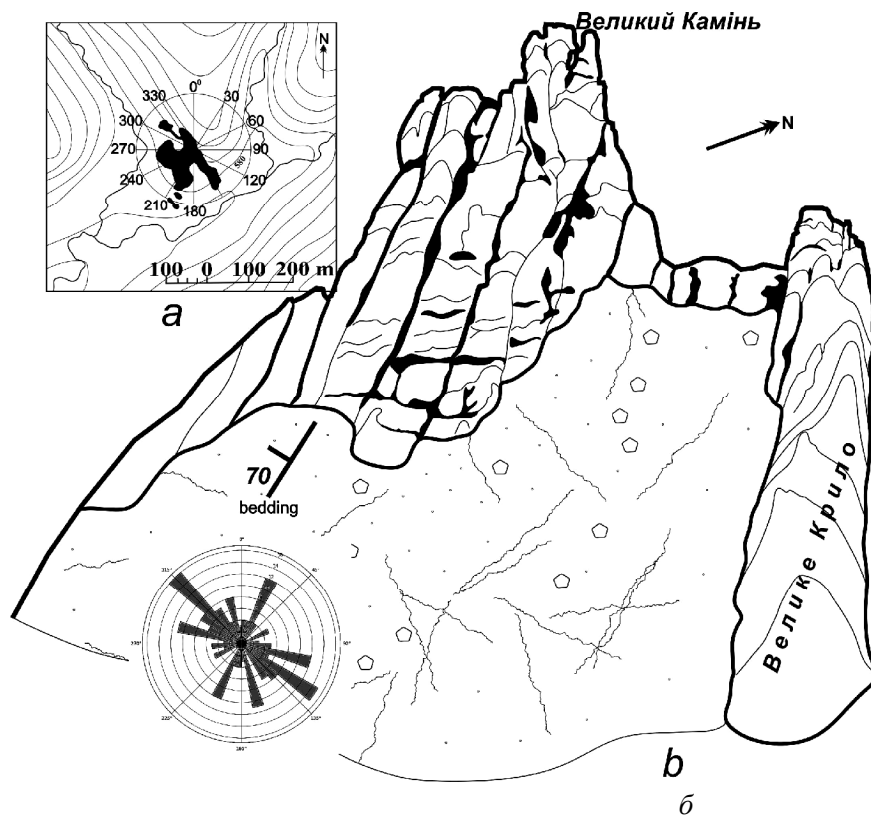


Рис. 6. Масив “Тустанський” Камінь:

a – вигляд у плані. Затемнений елемент відповідає формі скелі й напрямку простягання верств; *б* – морфологічна схема, на якій відображені тріщини транскарпатського простягання



Рис. 7. Уламки аргілітів у підшві шару пісковиків (грейнітів), які вказують на неоднорідність поверхні напластування

Тріщинуватість за *каскадною гравітаційною складчастістю* завдячує конседиментаційним зсувним процесам за псамітово-пелітовими утвореннями. Під час детального польового вивчення форм залягання пісковиків та їх структурно-текстурних особливостей ці утворення класифікують як підводно-осувні. Вони утворюють клиноподібне тіло із хаотичним нагромадженням уламків різного розміру, що дає змогу ідентифікувати їх як хаотичні осунені маси (та відклади уламкових потоків = дебрисних потоків). У палеогеографічному плані – це фації русла підводного каньйона, який, вірогідно, є елементом нормального (уламкового) шлейфу схилу. В будові дослідженого відслонення зсув, який виражений в нижній частині, ускладнений лопастеподібними фрагментами виступів, підкреслених скупченнями уламкового матеріалу й осуненими блоками. У дослідників складається враження, що за первинними формами залягання пісковиків проявилися процеси звітрявання у вигляді валиково-натічних форм. Місцями виокремлюються межі, які дають підстави вважати, що первинно-седиментаційні в'язко-пластичні зернисті потоки (породжені первинним осуванням) під час формування наплили один на другий і так остаточно зацементувались. У відслоненні добре видно, що за текстурними елементами, які підкреслюють різні властивості механізмів і типів потоків, породжених підводно-осувними явищами, розвивається тріщинуватість за каскадною гравітаційною складчастістю.

Обговорення

Мезо- і мікропроцеси, які відбуваються на поверхнях скель, чітку обумовлені первинними седиментаційними структурно-текстурними рисами порід та їхнім літологічним складом.

Мікропроцеси зумовлені структурами та текстурами петротипів ямненської світи, які сприяють розвитку хаотичних площинних, лінійних, точкових типів. Лінійні типи використовують текстури елементів Боума турбідитів (гравітитів), літологічну неоднорідність порід, які перешаровуються,

часто підкреслену проявами біологічного вивітрювання. Хаотичні площинні форми вивітрювання, які на поверхні зумовлюють формування процесів типу “віспа”, дезінтеграція і ніздрювання, виникли завдяки структурним особливостям вихідної породи, типу цементу, його різноманітності, типу цементациї та відмінностям фізичних характеристик (твердості) порід каркаса, матрикса і цементу. Точкові мікропроцеси лускування та десквамації зумовлені первинними структурно-текстурними ознаками порід.

Текстурні особливості мезопроецесів гравітаційних зсувів формують лункування та каскадну гравітаційну складчастість. Проникнення вологи в первинно неоднорідну поверхню пісковика спричиняє тип процесів ніздрювання, які розвиваються здебільшого у псефітово-псамітових турбідитах.

Мікропроцеси закладають початковий план морфодинаміки вивітрювання, мезопроецеси сприяють його розвитку як у середньому, так і у великому масштабах.

Неоднорідності седиментаційних текстур сприяють розвитку діагенетичних та катагенетичних текстур, текстур вивітрювання, вздовж яких активно розвивається тріщинуватість.

Під час становлення карпатського орогену тектонічні рухи сприяли розвитку плікативних та диз'юнктивних деформацій верств ямненського пісковика. За нашими спостереженнями району досліджень, тектонічні тріщини транскарпатського простягання підкреслили діагенетичну тріщинуватість, що призвело до її розширення і подальшого заповнення звітрілим матеріалом та стало додатковим чинником руйнування скелі.

На орогенному етапі активізувались тектонічні рухи систем тріщин антикарпатського простягання, вірогідно, закладені раніше [Гнилко, 2021]. Вони, за морфокінематичними роботами, містять зсувну компоненту, супроводжуються структурними парагенезисами тріщин сколу та відриву та розривів вищих порядків. Під час польових досліджень ми описали здебільшого закриті тріщини

сколювання, які слугують основою для накладання процесів нетектонічної тріщинуватості, зокрема, тріщин бортового відпору і вивітрювання. Загалом прихована тріщинуватість (різних генетичних груп) сприяє підвищеному ступеню руйнування порід і часто призводить до відокремлення блоків, готових до обвалювання.

Виконані спостереження типізують морфодинамічні процеси та індивідуалізують їх наслідки (див. табл. 2 “Взаємозалежності між різними типами морфодинамічних процесів скель”).

Наукова новизна та практичне значення

Наукова новизна роботи полягає в аналізі взаємозв'язків між морфодинамічними типами процесів на стінках скельного масиву та літологічними структурно-текстурними особливостями порід, утворених у різних геодинамічних умовах океанічного палеобасейну, і деякими деформаційними структурами. З'ясовано, що саме літолого-геодинамічні відміни найбільше впливають на хід та спрямованість зовнішніх мікро- і мезопроцесів на стінках скель. Дослідження доповнюють знання в галузі пісковикової геоморфології.

Практичне значення. Дослідження процесів руйнування скельного масиву важливі для визначення збереженості “Каменя” як цінного об'єкта історичної, культурної та геотуристичної спадщини. Отримані результати свідчать, що окремі блоки скелі сильно уражені поверхневими процесами, на які накладаються глибокі полігенетичні тріщини. Це потребує упровадження заходів з боку історико-культурного заповідника щодо посилення стійкості скельного масиву.

Висновки

Седиментація відбувається в різних динамічних середовищах, які пов'язані зі швидкими або повільними муттєвими потоками, зсувами і спокійними умовами акумуляції. Вони вплинули на формування специфічних структур і текстур у товщах. Порооди були деформовані під час тектонічних насувів та утворення Зовнішньокарпатської орогенної призми. Відміни у структурах і текстурах порід стають первинними чинниками, у яких розвиваються різні морфодинамічні процеси. Вважаємо, що особливості порід, закладені на ранньому етапі седиментації, визначають типи сучасних процесів, які розвиваються на стінках скель. Інші чинники, такі як: вплив вологи, різниці температур, рослинності, ерозії та гравітації, є вторинними. Геоморфологічні процеси відбуваються там, де в породах є ослаблені зони, закладені під час седиментації. Всі чинники разом зумовлюють розвиток цих процесів, які моделюють стінки скель. Виділяємо площинні, лінійні та точкові різновиди цих процесів.

Структурно-текстурні неоднорідності порід часто сприяють площинним, лінійним, точковим морфодинамічним мікропроцесам за літодинаміч-

ними типами ямненської світи. Морфодинамічні процеси середнього масштабу і мікропроцеси формуються частково за структурно-текстурними неоднорідностями літодинамічних типів. Частіше вони розвиваються за седиментаційними контактами літодинамічних типів та їх складових елементів. Важлива роль належить нетектонічній та прихованій тектонічній тріщинуватості.

Морфодинамічні процеси великого масштабу використовують специфічні текстури перерізу літодинамічних типів або шарів. На їх прояв активно впливає тектонічна тріщинуватість, яка формує структурні парагенезиси із розривними порушеннями субкарпатського та антикарпатського спрямувань.

Наша розробка окреслює *перспективи* досліджень структурно-текстурних характеристик порід у ракурсі їхнього впливу на спектр морфодинамічних процесів, що розвиваються на поверхнях пісковикових утворень.

Список літератури

- Байрак Г., Гаврилів М. Формування скельних комплексів Бескидів. *Фізична географія та геоморфологія*. Вип. 3(64). К.: ВГЛ “Обрії”, 2011. С. 63–72.
- Байрак Г., Теодорович Л. Оцінка привабливості геотуристичних районів Бескидів Українських Карпат. *Проблеми геоморфології і палеогеографії Українських Карпат і прилеглих територій: Збірник наукових праць*. Львів: ЛНУ імені Івана Франка. 2023. Вип. 1 (15). С. 154–171. <https://doi.org/10.30970/gpc.2023.1.3953>.
- Бубняк І., Бубняк А., Віхоть Ю., Спільник Р. Тріщинуватість гірських порід флішового комплексу Українських Карпат у межиріччі Ополу та Оряви, її тектонічне значення. *Геодинаміка*, 2007. № 6, 16–19. <https://doi.org/10.23939/jgd2007.01.016>.
- Волошин П. Інженерно-геоморфологічна характеристика Урицьких скель. *Проблеми геоморфології і палеогеографії Українських Карпат і прилеглих територій: Збірник наук. праць*. Львів: ВЦ ЛНУ ім. І. Франка, 2012. С. 172–180. <https://geography.lnu.edu.ua/research/problems-geomorphology-i-paleogeography-ukrajinskykh-karpat-i-prylehlyh-terytorij-zbirnyk-naukovyh-prats>.
- Гавришків Г. Петрографія палеоценових відкладів “екзотичних скель” Скибової зони Українських Карпат. *Збірник наук. праць Інституту геологічних наук НАН України*. 2008. Вип. 1. С. 67–69. <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/13467>.
- Генералова Л., Костюк О., Генералов А. Турбідити в середньопалеоценових строкатоколірних утвореннях Скибового покриву межиріччя Ополу та Свічі Українських Карпат. *Вісник Львівського університету. Серія геологічна*. 2022. Вип. 36. С. 44–67. <http://dx.doi.org/10.30970/vgl.36.04>.
- Геотуристичний путівник по шляху “Гео-Карпати” Кросно – Борислав – Яремче: монографія. [за

- ред. І. М. Бубняка і А. Т. Солеського]. Кросно: Державна вища професійна школа, 2013. 144 с.
- Гнилко О., Гнилко С., Генералова Л., Наварівська К. Стратиграфія та палеогеографічні умови формування відкладів карпійської серії (басейни рік Стрий та Опір, Українські Карпати). *Вісник Львівського університету. Серія географічна*. 2020. Вип. 54. С. 50–68. <http://dx.doi.org/10.30970/vgg.2020.54.10455>.
- Гнилко О., Гнилко С., Кулянда М., Марченко Р. Тектоно-седиментаційна еволюція передової частини насувної споруди Українських Карпат. *Геологія і геохімія горючих копалин*. 2021. № 1–2 (183–184). С. 45–59. <https://doi.org/10.15407/ggcm2021.01-02.045>.
- Гнилко О., Андреєва-Григорович А., Гнилко С. Вік та умови накопичення палеоценових відкладів Скибового покриву Карпат на основі мікропалеонтологічних та седиментологічних даних. *Геологія і геохімія горючих копалин*. 1–2 (187–188). С. 36–47. <https://doi.org/10.15407/ggcm2022.01-02.036>.
- Державна геологічна карта України масштабу 1:200 000. Аркуш М-35-XXV (Івано-Франківськ). Карпатська серія. Пояснювальна записка. Київ : УкрДГРІ, 2007. 150 с.
- Зінько Ю. Реальні і потенційні геотуристичні ресурси Заходу України. *Проблеми геоморфології і палеогеографії Українських Карпат і прилеглих територій: зб. наук. праць*. 2022. Вип. 1(14). С. 203–238. <https://doi.org/10.30970/gpc.2022.1.3863>.
- Кравчук Я. С. Рельєф Українських Карпат: монографія. Львів: ВЦ ЛНУ ім. І. Франка, 2021. 576 с.
- Крупський Ю. З. Геодинамічні умови формування і нафтогазоносність Карпатського та Волино-Подільського регіонів України. К.: УкрДГРІ, 2001. 144 с.
- Куліш Е., Корецька С. Особливості досліджень інженерно-геологічної будови скель “Тустань” для збереження та можливості реставрації пам’ятки архітектури. *Будівельні матеріали та вироб.* 2018. Вип. 5–6(99). 112–115. <https://doi.org/10.48076/2413-9890.2018-99-16>.
- Ступка О. С. Формування флішу Карпат в еволюції Тетису – новий погляд на проблему. *Геологія и полезные ископаемые Мирового океана*. 2010. № 2. С. 51–62.
- Adamovič J., Mikulaš R., Navratil T. Spherical and ellipsoidal cavities in European sandstones: a product of sinking carbonate dissolution front. *Zeitschrift für Geomorphologie*. 2015. 59, Suppl. 1, 123–149. https://doi.org/10.1127/zfg_suppl/2015/S-00177.
- Alexandrowicz Z. Sandstone rocky forms in Polish Carpathians attractive for education and tourism’ *Przegląd Geologiczny*, 2008, 56, 8/1: 680–687. https://www.pgi.gov.pl/images/stories/przegląd/pg_2008_08_01_19.pdf.
- Bayrak G. Morphologic classification of the Beskids rocks in the Ukrainian Carpathians. *Problems of geomorphology and paleogeography of the Ukrainian Carpathians and adjacent territories*, 2019, 1 (9), 117–132. <http://dx.doi.org/10.30970/gpc.2019.1.2806>.
- Bayrak G., Teodorovych L. Geological and geomorphological objects of the Ukrainian Carpathians’ Beskid Mountains and their tourist attractiveness. *Journ. Geology, Geography and Geoecology*, 2020, No. 29 (1), C. 16–29. <https://doi.org/10.15421/112002>.
- Bayrak G., Zinko J. Tafoni on rock surfaces in the Ukrainian Beskydy Mountains: morphological observations. 14th International Symposium on Pseudokarst (Sudetes, Southwestern Poland, Karlyw 24–27th May 2023). Wrocław: Institute of Geography and Regional Development, University of Wrocław, 2023, S. 10–15. ISBN 978-83-62673-85–8.
- Duszynski, F., Migon, P., Kasprzak, M. Underground erosion and sand removal from a sandstone tableland, Stołowe Mountains, SW Poland. *Catena*. 2016, 147, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.06.032>.
- Filippi, M., Bruthans, J., Řihošek, J., Slavík, M., Adamovič, J., & Mašin, D. (2018). Arcades: Products of stress-controlled and discontinuity-related weathering. *Earth-Science Reviews*, 180, 159–184. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.03.012>.
- Havryshkiv, H., Radkovets, N. Paleocene deposits of the Ukrainian Carpathians: geological and petrographic characteristics, reservoir properties. *Baltica*, 2020, 33 (2), 109–127. Vilnius. <https://doi.org/10.5200/baltica.2020.2.1>.
- Jahn A. Geneza scalek granitowych. *Czas. Geogr.*, T. XXXIII, z. I, 1962.
- Leszczynski S. Piaskowce ciężkowickie jednostki śląskiej w Polskich Karpatach: studium sedymentacji głębokowodnej osadów gruboklastycznych. *Polish Geological Society*, 1981, 51, 3–4. <https://geojournals.pgi.gov.pl/asgp/article/view/11985>.
- Migon P. Sandstone geomorphology – Recent advances. *Geomorphology*. 2021. 373 (Suppl. 1) <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2020.107484>.
- Migon, P. Weathering and Hillslope Development. In book: *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*, 2022. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818234-5.00215-7>.
- Migon P., Duszynski F. Ruiniform Relief. In book: *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*, 2021. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818234-5.00199-1>.
- Mol L., Viles H. A. The role of rock surface hardness and internal moisture in tafoni development in sandstone. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2012, 37(3): 301–314. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/esp.2252>.
- Paradise T. R. Tafoni and Other Rock Basins. *Reference Module in Earth Systems and Environmental*

- Sciences*, 2015. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.09570-1>.
- Sedimentary environments and facies. (1986). Ed. by H. G. Reading. Blackwell Scientific. 615 p.
- Stadnik R., Waśkowska A. (2015). Sedimentary indicators of a deep sea environment, in the sandstones of rocky forms, from the Ciężkowice-Rożnów Landscape Park (Outer Carpathians, Poland). *Geotourism*, 1–2 (40–41): 37–48. <http://dx.doi.org/10.7494/geotour.2015.40-41.37>.
- Turkington A., Philips J. Cavernous weathering, dynamical instability and self-organization. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2004. 29, 665–675. <https://doi.org/10.1002/esp.1060>.
- Urban J. Structural, lithological and tectonic constraints on the development and evolution of sandstone tors in the Świętokrzyskie (Holy Cross) Mountains. *Prz. Geol.*, 2020. 68: 112–126; <https://doi.org/10.7306/2020.4>.
- Urban J., Górnik M. Some aspects of lithological and exogenic control of sandstone morphology, the Świętokrzyskie (Holy Cross) Mts. case study, Poland. *Geomorphology*, 2017, 295: 773–89. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.08.010>.
- Urban J., Panek T., Hradecky J., Tabořík P. Deep structures of slopes connected with sandstone crags in the upland area of the Świętokrzyskie (Holy Cross) Mountains, Central Poland. *Geomorphology*, 2015, 246: 519–530. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.06.048>.

Galyna BAYRAK¹, Larysa HENERALOVA²

¹ Department of Geography of Ivan Franko National University of Lviv, 41, Doroshenko str., Lviv, 79000, Ukraine, e-mail: halyna.bayrak@lnu.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-4802-2706>

² Department of Geology of the Ivan Franko National University of Lviv, 4, Hrushevskiyi str., Lviv, 79005, Ukraine: e-mail: larysa.heneralova@lnu.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0002-6033-6556>

SEDIMENTARY MARKERS OF MODERN MORPHODYNAMIC PROCESSES ON THE SANDSTONE TOR “KAMIN” (VILLAGE URYCH, EASTERN BESKYDY, UKRAINIAN CARPATHIANS)

The paper studies the types of modern morphodynamic processes on the sandstone tor “Kamin” (“Stone”) in the village Urych (Eastern Beskydy, Ukrainian Carpathians) as a nature monument and historical and cultural reserve. It reveals interrelationships between the modern manifestations of the processes and the sedimentological facies of the Paleogene rocks of the Yamna Formation. During the formation of the Carpathian thrust fault structure, they were created in the geodynamic conditions of the Outer Carpathian deep-water oceanic paleobasin and deformed during the stages of accretion and orogeny. The main research methods were morphological, morphodynamic, sedimentological, and lithological. Modern morphodynamic processes on the tor walls are classified by their origin, localization within the studied object, and the amount of tor wall coverage. Morphodynamic processes can be classified into different types such as soaking and very small pits; destruction; flaking; spalling; dimples weathering; alveolar weathering; corrosion and washing away the grains; linear underground erosion; biogenic superficial weathering; biogenic linear weathering; block collapses; joint-guided weathering; along tectonic, tensile, weathering, lithological cracks; gravity cascade folds. According to the amount of coverage of the tor walls, the following are distinguished: microprocesses (local manifestations), medium-scale and large-scale processes, with a destruction depth of 1–10 cm. Medium-scale processes that occur on tor superfacials are related to primary sedimentary structural-textural features of rocks and their lithological composition. Fractured paragenesis of the Sub-Carpathian and Anti-Carpathian directions dominate large-scale processes. Studies of the tor destruction processes are important to determine the preservation methods of the sandstone tor “Kamin” as a valuable object of historical, cultural, and geotourism heritage. The obtained results indicate that individual tor blocks are strongly affected by superficial processes, on which deep polygenetic cracks are superimposed. This provides a basis to implement measures for strengthening the stability of the tor.

Key words: modern morphodynamic processes; geodynamic paleoconditions; sedimentary features; sandstone tor “Kamin” (“Stone”); Eastern Beskydy; Ukrainian Carpathians.

Надійшла 05.03.2024 р.