

ОСОБЛИВОСТІ ЛІТОГЕНЕЗУ ПАЛЮДАЛЬНИХ ТРАВЕРТИНІВ БАСЕЙНУ Р. ЗУБРА

Уляна Борняк¹, Марина Рагуліна², Олег Орлов³

^{1,2}Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. М. Грушевського, 4, Львів, Україна, 79005

^{2,3}Державний природознавчий музей НАН України,
вул. Театральна, 18, Львів, Україна, 79008

¹ulyana.bornyak@lnu.edu.ua; ²funaria@ukr.net; ³orlov0632306454@gmail.com

¹orcid.org/0000-0003-1214-4821; ²orcid.org/0000-0001-9286-6693; ³orcid.org/0000-0003-3684-0864

Проведено дослідження болотних травертинів басейну річки Зубра: уперше проаналізовано комплекс органічних решток у відкладах палюдальних вапнякових туфів, здійснено палеологологічну реконструкцію умов їхнього формування та встановлено тенденції сучасної антропогенної трансформації травертинового тіла.

На сьогоднішній день у басейні р. Зубра зберігся лише один травертиновий масив площею близько 1 га. Місцями він дуже пошкоджений і є аморфним нагромадженням уламків різної форми та розміру, які мають варіативне забарвлення й представлені двома основними літофаціями: фітогермальною та мікродетритовою. У складі фітогерм переважають рештки представників осокових та злакових рослин, живі стебла яких формували каркас відкладень. Мікродетритові травертини, сформовані переважно кальцифікованими залишками сильно розкладеного опалого листя дерев та відмерлими частинами трав'янистих рослин, характеризуються однорідною пористою структурою, у якій слабо зчитується первинний органічний субстрат.

Особливістю досліджуваних травертинових утворень є наявність численних залізистих стяжін, що репрезентовані безладно розподіленими рудними масами, гніздоподібними залізистими конкреціями та ділянками вкраплення.

Проведені дослідження засвідчують, що травертинові відклади басейну річки Зубра є залишками карбонатного (алкалінового) болота, яке зникло через активну й довготривалу антропогенну трансформацію території. Специфічна рослинність, слабка проточність, невелика глибина та наявність джерельних вод гідрокarbonатно-кальцієвого складу сприяли утворенню значних покладів вапнякового туфу.

Незважаючи на те що виявлені травертинові поклади з включенням залізних руд є інактивованими через антропогенне втручання, а алкалінове болото – «мертвим», уважаємо виявлену нами в околицях с. Кротошин локацію унікальною з огляду на історичну, естетичну та насамперед науково-пізнавальну цінність. Травертиновий масив потребує збереження й присвоєння статусу геологічної пам'ятки природи місцевого значення та потребує подальших більш глибоких досліджень.

Ключові слова: палюдальні травертини, вапняковий туф, карбонатне болото, геологічна пам'ятка природи, басейн р. Зубра.

Вступ. Термін «вапняковий туф» (інша назва – травертин) зазвичай використовують для опису будь-яких відкладів карбонату кальцію, зокрема низькомагнезійного, що сформувалися шляхом складних комплексних біологічних та фізико-хімічних процесів, пов'язаних з водами, перенасиченими гідрокарбонатами.

Для континентальних водойм виокремлюють чотири моделі формування вапнякових туфових відкладів: джерельні, річкові, озерні та болотні. Слід зазначити, що більшість таких утворень є комплексними й лише деякі сформувалися за єдиною моделлю [20; 21]. Правильна інтерпретація моделі формування може бути доволі складною на давніх ділянках утворення, де відклади зараз або частково поховані, або фрагментарно зруйновані ерозією. Однак кожен тип туфу можна ідентифікувати на основі типів структур і решток біоти, які переважають.

Болотні (або палюдальні) травертини формуються в холодному прісноводному середовищі за умов слабкої проточності на мілководдях з рясною гігро- та гідрофільною рослинністю, де утворюються значні за площею, проте згладжені, не виражені за рельєфом поклади [20; 21]. Вони розвиваються головню на заболоченому дні долин, де відкладаються у вигляді субгоризонтальних пластів, які стоншуються до осі долини та вниз за течією. Окремі купини (фітогермальні подушки) напівводної трав'яної рослинності, об'єднані в єдиний масив, є найвиразнішою діагностичною ознакою цієї моделі травертиноутворення. Літифікація окремих шарів є настільки швидкою, що розпад пов'язаної з ними живої рослинності та її свіжих решток не встигає відбутися, у результаті чого формуються високопористі відклади. Раннє видалення органіки з болотних туфів відповідає за автобрекціювання та диференціальне ущільнення [20].

Описані відклади болотних травертинів обмежені відносно невеликою кількістю публікацій у світовій геологічній літературі. Це спричинено як загальною нечисленністю цих утворів, так і поганим збереженням унаслідок ерозійних процесів, складною ідентифікацією з огляду на складність виокремлення з-поміж подібних утворень іншого генезису (джерельних, річкових, озерних) або через недоступність з огляду на поховання (перекриття) молодшими відкладами.

Травертини басейну р. Зубра вперше згадає А. М. Ломницький у часописі *Kosmos* (1893) [17]. Дослідник описує вапняк прісноводний (*wapen ślodkowodny*), зафіксований ним на території однієї з каменярень на території с. Зубра, де видобували камінь, а саме – літотамнієвий вапняк, для будівництва печей. Тут знайдено специфічні відклади, товщиною 1–2 дм, що містили «чітко помітні відбитки стебел рослин, переважно однодольних, і чисельні розкидані кулясті тільця, схожі на плоди осокової рослини (...) діаметром понад 1 мм». На нашу думку, цей опис відповідає палюдальній формі вапнякових туфів, як ми розуміємо її зараз. У монографії «Геологія Львова та околиць» (1897) [16] А. М. Ломницький наводить ще кілька локацій, які, на відміну від уже згадуваної, прив'язані до джерел, а тому репрезентують інакшу модель травертиноутворення – джерельну. Згадано «досить рясні джерела», які б'ють із берега р. Зубра, «виділяючи багато гідроксиду заліза». Продуктом цих джерел були «величезні поклади травертину кольору іржі (...), товщиною 2–3 м, добре розвинені, де-не-де з прошаркам торфу, складені з різних болотяних рослин, уламків стовбурів і кори дерев». Спираючись на збори черепашок прісноводних моллюсків, знайдених тут, дослідник вважає описувані травертини сучасним алювіальним утвором. Зазначено, що «в деяких місцях цей травертин дуже компактний і твердий, тому його можна з користю використовувати як будівельний матеріал». Приклад практичного використання місцевих «прісноводних вапняків» можна побачити в сусідньому селі Жирівка, де з них було вимуровано фундамент дзвіниці при храмі Святого Архистратига Михаїла (1770 р.).

На жаль, у жодній із локацій, наведених М. А. Ломницьким, травертинові відклади не збереглися, оскільки ділянки старих каменярень були поглинуті подальшою розбудовою населених пунктів (с. Зубра, с. Сокільники).

Мета статті – проаналізувати комплекс органічних решток у відкладах палюдальних вапнякових туфів басейну р. Зубра, здійснити палеоекологічну реконструкцію умов їх формування та тенденцій сучасної антропогенної трансформації травертинового тіла.

Матеріали й методи досліджень. Матеріалом для написання статті слугували палюдальні вапнякові туфи (болотні травертини), виявлені нами на пд.-зх. околиці с. Кротошин (Львівський р-н Львівської області). Досліджувані поклади локалізовані в межиріччі при злитті двох рукавів Кротошинського потоку (географічні координати: 49.738166, 24.082510), що є лівим допливом р. Зубра. Переважання болотних ландшафтів у цій місцевості в минулому зумовлювалося специфічним водним режимом природної заплави, який у нас час був докорінно змінений через заходи гідротехнічної осушувальної меліорації, що призвело до цілковитої інактивзації травертинового масиву.

Зауважимо, що басейнова система р. Зубра в сучасних умовах є вкрай трансформованою. Від витоків (м. Львів, вул. Вулицька) річка тече підземним колектором: маючи протяжність 4 км. у межах міста каналізованими є 2,5 км і лише 1,5 км русла річки є відкритими. У природній течії долина р. Зубра є трапецієподібною, з однією надзаплатною терасою заввишки 1,3 м, ширина русла становить 0,5–2,8 м [1]. Конфігурація річища лише на окремих ділянках течії є природною, тоді як більша частина русла спрямлена. Досліджуваний потік упадає в р. Зубра між с. Кротошин та с. Жирівка.

Антропогенну трансформацію території вивчали за картографічними матеріалами XVII–XX ст. [5; 7], сучасними топографічними картами [18] та історичною літературою [13].

Дібрані зразки травертинів аналізували в камеральних умовах.

Палеоботанічний матеріал ідентифікували стандартним порівняльно-морфологічним методом з використанням оптичної мікроскопії. У роботі спиралися на архітектоніку вегетативних органів у будові сучасних рослин, оскільки досліджувана флора є голоценовою. Листя визначали за формою листкової пластини та характером жилкування, стебла – за особливостями просторової конструкції (арматурою механічних тканин) та/або за формою поперечного перерізу. Систематичну належність зразків установлювали до роду / родини. Видову належність не вдалось ідентифікувати через брак описових ознак з огляду на погану збереженість рослинних решток в умовах болота, де м'які тканини доволі швидко мацеруються. Як порівняльні використано колекції гербаріїв судинних та несудинних рослин Державного природознавчого музею НАН України (LWS). Таксономія відповідає сучасній класифікації судинних [22] і мохоподібних [12] рослин.

Палеоекологічну реконструкцію здійснено згідно з новітніми підходами [10], на основі аналізу складу фітолітів (скам'янілих решток), спираючись на дані про синтаксономічну приуроченість та екологічні преференції представників вибраних таксонів (родів / родин). Назви оселищ наведено за Національним каталогом біотопів України [3], раритетних оселищ – за переліком NATURA 2000 [19].

Виклад основного матеріалу: результати досліджень. Досліджувана локація в межиріччі рукавів Кротошинського потоку має довгу історію загосподарювання. Згідно з найстаршими картографічними матеріалами, які нам вдалося відшукати, наприкінці XVII ст. тут існував став, під яким був облаштований водяний млин. Для запруды використали природну заглибину (308 м н. р. м.; найвища точка с. Кротошин – 349 м н. р. м.) на місці карбонатного низинного болота. Імовірно, став із млином був облаштований тут набагато раніше, ще наприкінці XV – на початку XVI ст., невдовзі після передачі

с. Кротошина ордену отців-домініканців львівського монастиря Божого Тіла (1377 р.) [13]. На мапах кінця XIX ст. можемо бачити, що від великої водойми залишився лише невеличкий став, а територія колишнього болота була осушена. У радянський час на цьому місці стояв колгоспний двір, оскільки кам'яністі «невгіддя» виявилися непридатними для землеробства. Зараз від колишнього господарства залишилося лише забур'янене пустище. На товщі сухих травертинів площею близько 1 га на слабкорозвинених дерново-карбонатних ґрунтах (рендзинові лептосоли) розвинувся трав'яний, дуже рудералізований покрив. Подеколи відслонені травертини виходять на денну поверхню та рясно вкриті мохами. Місцями масив надто пошкоджений і є аморфним нагромадженням уламків різної форми та розміру. Так, карбонатне болото не функціонує вже щонайменше 500 років: спочатку його територія була затоплена, а пізніше – осушена.

Травертинові відклади з досліджуваної локації є доволі гетероморфними та мають різне забарвлення й структурно-текстурні характеристики. Кольорова гамма варіюється від сірого, жовтувато-сірого, бурого до темно-сірого та майже чорного.

За структурно-текстурними особливостями виокремлено 2 основні палюдальні літофації: фітогермальні каркасні та мікродетритові травертини.

У структурі фітогермальних каркасних утворень чітко виражені рештки болотяних рослин-гелофітів, головно – стебел (0,3–0,8 см у діаметрі), а також вузьких листків (0,8–4 см завширшки). Вони спрямовані вертикально / субвертикально й формують каркас відкладів. Так, утворені ними фітогерми мають переважно трубчасту структуру.

У складі фітогерм переважають рештки представників осокових (родина *Cyperaceae*): трикутні (рис. 1D) або округлі / овальні (рис. 1C) за поперечним перерізом (зламом) стебла. Перші ми ідентифікували як належні до представників роду осока (*Carex* sp.), другі – до роду куга (*Schoenoplectus* sp.). Також доволі чисельними є відбитки вузьких жилкуватих листків (рис. 1A, B) та зрідка трапляються відбитки або оболонки плодів-горішків. Представники згадуваних родів є середньорослими рослинами висотою 0,5–2,5 м, що формують потужні купини подушкоподібної форми, нижньою частиною занурені у воду. Листя й стебла осокових багаті на механічні тканини з високим вмістом кремнезему, завдяки чому вони добре зберігаються у відкладах. Тонші трубочки (до 0,5 см), імовірно, належать рослинам роду ситник (*Juncus* sp.) з родини ситникові (*Juncaceae*). Це невисокі водно-болотні трави висотою 30–60 см, з тонкими циліндричними стеблами та листками. Також досить великі скупчення у фітогермальній літофації формують рештки напівводних злакових рослин підроду очеретяні (*Juncaceae: Arundoideae*). Це високі, до 3 м рослини з циліндричними порожнистими або з м'якою серцевиною стеблами та довгими вузькими листками, армованими механічними тканинами (рис. 1E). Найпоширенішим є очерет (рід *Fragmites*). Між стеблами рослин траплялися скам'янілі рештки / відбитки стебел та гілок бріофітів, зокрема подібні до болотяного моху калієргонелли загостреної (*Calliergonella cuspidata* (Hedw.) Loeske) (рис. 1D).

Місцями до залишків трав'яних болотяних рослин долучається листя дерев, вочевидь наводних, зокрема верб (рід *Salix*, сучасна секція *Vetrix*) зі шкірястими листками, що навіть у скелетизованому стані добре зберігають свій малюнок (рис. 1F). Типовий представник – верба козяча (*Salix caprea* L.). У відбитках залишається лише сітка жилкування або окремі волокна, оскільки м'які тканини рослин у воді розм'якшуються (мацеруються) та розкладаються. Тому мікродетритові травертини характеризуються однорідною пористою структурою, у якій слабо зчитується первинний органічний субстрат. Утворення мікродетритових літофацій, вочевидь, є сезонним і корелює як з об'ємом відмерлої надземної маси рослин восени, так і з поступовим прогріванням води навесні, що спричинює седиментацію карбонатів *in situ*.

Живі рослини, як судинні, так і мохоподібні, є активними учасниками ініціальних етапів туфонагромадження у водах, збагачених гідрокарбонатом кальцію: вони поглинають діоксид вуглецю, тим самим сприяючи осадженню карбонатів, що формують кірочку на стеблах і листках, що занурені у воду:

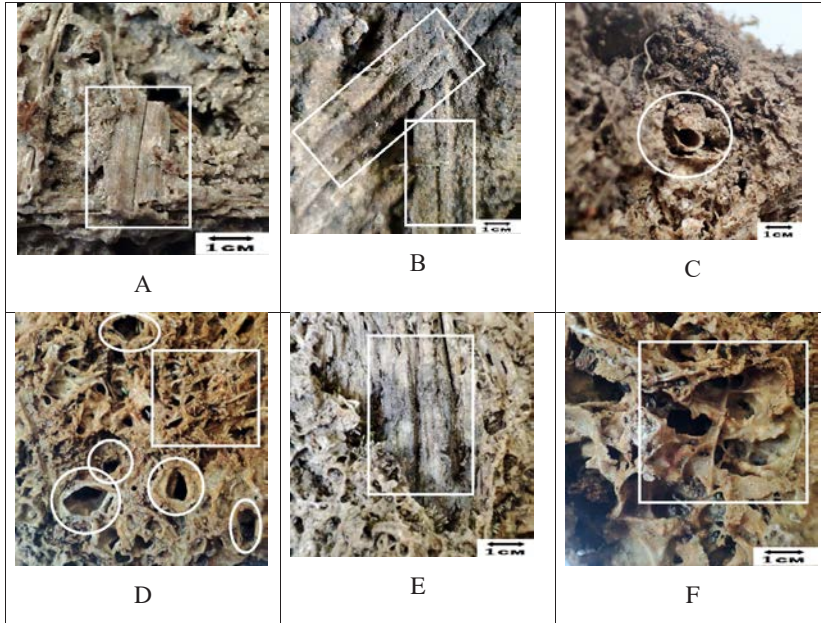


Рис. 1. Відбитки та кальцифіковані рештки рослин у болотних травертинах басейну р. Зубра: **А** – листок *Carex cf. riparia*, **В** – листок *Carex cf. acutiformis*, **С** – стебло *Schoenoplectus sp.*, **Д** – стебла *Carex sp.* + фрагмент дернини моху *Calliergonella cuspidata*, **Е** – листок *Phragmites cf. australis*, листок *Salix cf. caprea*

Дані про склад рослинності, отримані шляхом аналізу відбитків та кальцифікованих решток рослин у болотних травертинах басейну р. Зубра, дають нам загальні уявлення про екосистему давнього карбонатного болота, яке існувало тут.

Згідно із сучасною класифікацією, такі біотопи можуть бути ідентифіковані як карбонатні або алкалінові (лужні) болота [3; 19]. Вони приурочені до ділянок утворення туфу та/або торфу з високим рівнем ґрунтових вод, збагачених іонами кальцію, що мають лужну реакцію. Такі біотопи можуть формуватися як у заплавах річок, так і на вододілах. У першому випадку вони прив'язані до заболочених заплавах малих річок, у другому – до терас та реліктових долин на карбонатних породах, часто в місцях виходу підземних вод. Характерною для них є водно-болотна рослинність союзу *Caricion davallianae* Klika 1934 (клас *Scheuchzeria palustris*-*Caricetea fuscae* Tx. 1937) з домінуванням кальцифільних осок. Також типовим є рясний килим «бурих мохів», головно – представників родини *Amblystegiaceae*. Оскільки локалізація карбонатних боліт обмежена місцями активного відтоку підземних вод, збагачених Ca^{2+} , їхнє поширення має мозаїчний характер. Добре збережені алкалінові болота з типовою для цієї екосистеми рослинністю нині є рідкісними скрізь у Європі та

входять до переліку оселищ, пріоритетних для охорони – Alkaline fens (7230) [19]. Серед основних причин критичного скорочення їхніх площ є як антропогенні (активна меліорація), так і природні (поступове зменшення кількості опадів впродовж голоцену) чинники [6]. На заході України (Львівська область) «живі» алкалінові болота найкраще збереглися у верхів'ях Західного Бугу на території НПП «Північне Поділля» [2].

Особливістю болотних травертинових утворень долини р. Зубра є наявність у них численних залізистих стяжін, які ми трактуємо як болотні залізні руди. Болотні залізні руди – це осадові родовища заліза (наземні скупчення мінералів заліза (Fe), особливо оксидів і гідроксидів), які зазвичай містяться в низинних районах, як-от болота, луки або річкові долини та мікрозападини з рівнем ґрунтових вод близько до поверхні [8]. Уміст Fe_2O_3 в болотній залізній руді коливається від 30 до 50 мас. %, але може досягати до 95 мас. % [9]. Механізм формування болотної залізної руди передбачає три фази розвитку або форми формування: початкова фаза – м'яка нестабільна форма, що представляє збагачений залізом ґрунт; проміжна / перехідна фаза – вузикові форми безладно розподілені, гніздоподібні конкреції; кінцева фаза – твердий, повністю сформований шар руди із субгоризонтальним заляганням [14; 15]. Склад руди значно залежить від елементного складу материнського осаду з погляду геологічних утворень, гідрологічної ситуації досліджуваної території та складу потоків підземних вод [15], які переважно функціонують як джерело заліза, марганцю й фосфору [11]. Основною вимогою для комплексного утворення болотних залізних руд є наявність залізоземісних і марганцевмісних мінералів та органічних сполук у водозбірній площі, а також геохімічно активних мікроорганізмів і рослин [11]. Усі фотосинтетики виконують подвійну роль: як продуценти кисню вони є пасивними окисниками заліза, а також є субстратом, на поверхні якого залізо може сорбуватися або зв'язуватися. Це призводить до того, що водні рослини ясно покриваються ясно-оранжевими дрібними кристалами оксигідроксиду заліза поблизу точки виділення кисню з рослин [14]. Важливу роль у біогенному окисненні заліза відіграють і мікроорганізми, а саме – феробактерії, що активно продукують драглисту слизувату масу червоного забарвлення, що містить позаклітинні полімери бактеріальних оболонок з високим вмістом оксигідроксиду заліза [4].

Ми зафіксували численні безладно розподілені рудні маси, гніздоподібні залізисті конкреції та ділянки вкраплень. Простежити закономірність локалізації рудних елементів у тілі травертину не вдалося, оскільки його відклади значно трансформовані діяльністю людини, яка не лише зупинила процес травертиноутворення, а й спричинила деградацію залишкових відкладів.

Висновки та перспективи подальшого дослідження. Болотні (пальюдальні) травертини басейну р. Зубра мають варіативне забарвлення (від сірого до майже чорного) та представлені двома основними літофаціями: фітогермальною та мікродетритовою. У складі фітогерм переважають рештки представників осокових і злакових рослин, живі стебла яких формували каркас відкладень. Мікродетритові травертини, сформовані переважно кальцифікованими залишками сильно розкладеного опалого листя дерев та відмерлими частинами трав'янистих рослин, характеризуються однорідною пористою структурою, у якій слабо зчитується первинний органічний субстрат. Особливістю болотних травертинових утворень долини р. Зубра є наявність у них численних залізистих стяжін (болотних залізних руд), репрезентованих безладно розподіленими рудними масами, гніздоподібними залізистими конкреціями та ділянками вкраплень.

Досліджувані травертинові відклади є залишками карбонатного (алкалінового) болота, яке існувало понад 500 р. тому та зникло через активну й довготривалу антропогенну трансформацію території. Тут панувала водно-болотна рослинність з домінуванням

кальцифільних осок. Специфічна рослинність, слабка проточність, невелика глибина та наявність джерельних вод гідрокарбонатно-кальцієвого складу сприяли утворенню значних покладів вапнякового туфу.

Незважаючи на те що виявлені травертинові поклади з включенням залізних руд є інактивованими через антропогенне втручання, а алкалінове болото – «мертвим», уважаємо виявлену нами в околицях с. Кротошин локацію унікальною з огляду на історичну, естетичну та насамперед науково-пізнавальну цінність. Травертиновий масив потребує збереження та присвоєння статусу геологічної пам'ятки природи й потребує подальших, більш глибоких аналітичних, стратиграфічних, палеогеографічних та палеоботанічних досліджень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Байрак Г. Р. Руслова мережа Львова: зміни за історичний період та сучасний стан. *Вісник Львівського університету. Сер. геогр.* 2016. Вип. 50. С. 3–21.
2. Данилик І., Борсукевич Л., Кузярін О., Гончаренко В., Ізмест'єва С. Рідкісні оселища (NATURA-2000) верхів'я басейну ріки Західний Буг у контексті створення екологічної мережі Львівщини. URL: <https://gcs.org.ua/habitats/>.
3. Національний каталог біотопів України. За ред. Куземко А. А., Дідуха Я. П., Онищенко В. А., Шеффера Я. Київ : ФОП Клименко Ю. Я., 2018. 442 с.
4. Рагуліна М., Орлов О., Борняк У., Дмитрук Р., Кіт Л. Оселище вуглекислих залізистих травертинових джерел Міжгірської Верховини (Українські Карпати). Навколишнє середовище для майбутнього через наукову освіту: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (1–2 червня 2023). Ужгород : ПП «АУТДОР-ШАРК», 2023. С. 125–128.
5. Старовинні карти України. URL: <https://freemap.com.ua>.
6. Apolinarska K., Kielczewski R., Pleskot K., Marzec M., Aunina L., Michalska D., Siepak M., Kowalczyk C., Galka M. The decline of tufa deposition in an alkaline fen ecosystem in East-Central Europe and its impact on biotic assemblages: Insights from monitoring and paleoecological data. *Science of The Total Environment*. Vol. 912, 2024, 169408. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169408>.
7. Arcanum Maps. URL: <https://www.arcanum.com/en/maps>.
8. Banning A., Rude T. R., Dölling B. Crossing redox boundaries – aquifer redox history and effects on iron mineralogy and arsenic availability. *Journal of Hazardous Materials*. 2013. Vol. 262. P. 905–914.
9. Brenko T., Borojević Šoštarić S., Ružičić S., Sekelj Ivančan T. Evidence for the formation of bog iron ore in soils of the Podravina region, NE Croatia: Geochemical and mineralogical study. *Quaternary International*, 2020. Vol. 536. P. 13–29.
10. Croft D. A., Su D. F., Simpson S. W. Introduction to Paleoecological Reconstruction. *Methods in Paleocology. Vertebrate Paleobiology and Paleoanthropology*. Springer, Cham. 2018. https://doi.org/10.1007/978-3-319-94265-0_1.
11. Graupner A. Raseneisenstein in Niedersachsen: Entstehung, Vorkommen, Zusammensetzung u. Verwendung. *Göttinger Tageblatt*. 1982. 180 p.
12. Hodgetts N., Söderström L., Blockeel T. et al. An annotated checklist of bryophytes of Europe, Macaronesia and Cyprus. *Journal of Bryology*. 2020. Vol. 42 (1). P. 1–116.
13. Krotoszyn. Słownik geograficzny Królestwa Polskiego, t. IV: Kęs-Kutno, Warszawa 1883, s. 711.
14. Kaczorek D. A., Sommer M., Andruschkewitsch I., Oktaba L., Czerwinski Z., Stahr K. Comparative micromorphological and chemical study of “Raseneisenstein” (bog iron ore) and “Ortstein”. *Geoderma*, 2004. Vol. 121. P. 83–94.
15. Kaczorek D., Sommer M. Micromorphology, chemistry, and mineralogy of bog iron ores from Poland. *Catena*, 54, 2003. P. 393–402.

16. Łomnicki A. M. *Geologia Lwowa i okolicy. Atlas geologiczny Galicyi. Zeszyt 10 czesc 1.* Kraków : Wydawnictwo Fizjograficzne Akademii Um. 1897. 208 s.
17. Łomnicki A. M. Przyczynek do geologii okolic Lwowa. *Kosmos*. 1893. XVIII. S. 337–341.
18. Mapy.cz. URL: <https://uk.mapy.cz/>
19. NATURA 2000. URL: <https://natura2000.eea.europa.eu>
20. Pedley M. Sedimentology of Quaternary perched springline and paludal tufas: criteria for recognition, with examples from Guadalajara Province, Spain. *Sedimentology*, 2003. Vol. 50. P. 23–44.
21. Pentecost A. *Travertine*. Berlin: Springer. 2005. 445p.
22. Plants of the World Online. POWO (2023). Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew. URL: <http://www.plantsoftheworldonline.org/>

REFERENCES

1. Bayrak, H.R. (2016). Ruslova merezha L'vova: zminy za istorychnyy period ta suchasnyy stan [The channels of river of Lviv: transformation during the historical epoch and modern stage]. *Visnyk L'vivskoho universytetu. Seriya heohrafichna – Visnyk of the Lviv University. Series Geography*, 50, 3–21.
2. Danylyk, I., Borsukevych, L., Kuzyarin, O., Honcharenko, V., Izmyest'yeva, S. Ridkisini oselyshcha (NATURA-2000) verkhiv'ya baseynu riky Zakhidnyy Buh u konteksti stvorenniya ekolohichnoyi merezhi L'vivshchyny [Rare habitats (NATURA-2000) of the Upper Western Bug river Basin in context of Lviv region ecological network creation]. (n.d.). gcs.org.ua/habitats/. Retrieved from <https://gcs.org.ua/habitats/>.
3. Kuzemko, A.A., Didukh, YA.P., Onyshchenko, V.A., & Sheffer, YA. (Eds.). (2009). *Natsional'nyy katalog biotopiv Ukrainy [National habitat catalogue of Ukraine]*. K.: FOP Klymenko YU.YA.
4. Rahulina, M., Orlov, O., Bornyak, U., Dmytruk, R., & Kit, L. (2023). Oselyshche vuhlekyslykh zalizystykh travertynovykh dzherel Mizhhirs'koyi Verkhovyny (Ukrayins'ki Karpaty) [Settlement of carbonic iron travertine springs of Mizhhirska Verhovyna (Ukrainian Carpathians)]. Proceedings from: *Mizhnarodna naukovopraktychna konferentsiya «Navkolyshnye seredovyshche dlya maybut'oho cherez naukovu osvitu» – The International scientific and practical conference «Environment for the future through scientific education»*. (pp. 125–128). Uzhhorod: PP «AUTDOR-SHARK».
5. Starovynni karty Ukrainy [Ancient maps of Ukraine]. (n.d.). freemap.com.ua. Retrieved from <https://freemap.com.ua>.
6. Apolinarska, K., Kielczewski, R., Pleskot, K., Marzec, M., Aunina, L., & Michalska, D., et al. (2024). The decline of tufa deposition in an alkaline fen ecosystem in East-Central Europe and its impact on biotic assemblages: Insights from monitoring and paleoecological data. *Science of The Total Environment*, 912, 169408.
7. Arcanum Maps. (n.d.). [arcanum.com/en/maps](https://www.arcanum.com/en/maps). Retrieved from <https://www.arcanum.com/en/maps>.
8. Banning, A., Rude, T. R., & Dölling, B. (2013). Crossing redox boundaries – aquifer redox history and effects on iron mineralogy and arsenic availability. *Journal of Hazardous Materials*, 262, 905–914.
9. Brenko, T., Borojević Šošarić, S., Ružičić, S., & Sekelj Ivančan, T. (2020). Evidence for the formation of bog iron ore in soils of the Podravina region, NE Croatia: Geochemical and mineralogical study. *Quaternary International*, 536, 13–29.
10. Croft, D.A., Su, D.F., & Simpson, S.W. (2018). Introduction to Paleoecological Reconstruction. *Methods in Paleocology. Vertebrate Paleobiology and Paleoanthropology*. Springer, Cham. Retrieved from https://doi.org/10.1007/978-3-319-94265-0_1.
11. Graupner, A. (1982). Raseneisenstein in Niedersachsen: Entstehung, Vorkommen, Zusammensetzung u. Verwendung. *Göttinger Tageblatt*.
12. Hodgetts, N., Söderström, L., Blockeel, T., Caspari, S., Ignatov, M., & Konstantinova, N. et al. (2020). An annotated checklist of bryophytes of Europe, Macaronesia and Cyprus. *Journal of Bryology*, 42 (1), 1–116.

13. Krotoszyn. Słownik geograficzny Królestwa Polskiego. (1883). Kęs-Kutno, Warszawa.
14. Kaczorek, D. A., Sommer, M., Andruschkewitsch, I., Oktaba, L., Czerwinski, Z., & Stahr, K. (2004). Comparative micromorphological and chemical study of “Raseneisenstein” (bog iron ore) and “Ortstein”. *Geoderma*, 121, 83–94.
15. Kaczorek, D., & Sommer, M. (2003). Micromorphology, chemistry, and mineralogy of bog iron ores from Poland. *Catena*, 54, 393–402.
16. Łomnicki, A. M. (1897). Geologia Lwowa i okolicy. Atlas geologiczny Galicyi. Zeszyt 10 czesc 1. Kraków: Wydawnictwo Fizjograficzne Akademii Um.
17. Łomnicki A. M. (1893). Przyczynek do geologii okolic Lwowa. *Kosmos*, XVIII, 337–341.
18. Mapy.cz. (n.d.). uk.mapy.cz. Retrieved from <https://uk.mapy.cz/>
19. NATURA 2000. (n.d.). natura2000.eea.europa.eu. Retrieved from <https://natura2000.eea.europa.eu>.
20. Pedley, M. (2003). Sedimentology of Quaternary perched springline and paludal tufas: criteria for recognition, with examples from Guadalajara Province, Spain. *Sedimentology*, 50, 23–44.
21. Pentecost, A. (2005). Travertine. Berlin: Springer.
22. Plants of the World Online. POWO (2023). Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew. Retrieved from <http://www.plantsoftheworldonline.org/>.

FEATURES OF THE LITHOGENESIS OF PALUDAL TUFAS IN THE ZUBRA RIVER BASIN

Ulyana Bornyak¹, Marina Ragulina^{1,2}, Oleg Orlov²

¹*Ivan Franko National University of Lviv,
Hrushevskogo Str., 4, Lviv, Ukraine, 79005*

²*State Natural History Museum of Ukrainian National Academy of Sciences,
Theater Str., 18, Lviv, Ukraine, 79000*

A study of paludal tufa in the Zubra river basin has been conducted. The organic remains within paludal limestone tufas were analysed, paleoecological reconstruction of their formation conditions was carried out for the first time. Additionally, the study of the current anthropogenic transformation of the travertine body has been examined.

Only one travertine massif, approximately 1 hectare in size, remains in the Zubra River basin at present. It is hardly damaged by human activity and consists of an amorphous accumulation of fragments of various shapes and sizes with variable coloration, represented by two main lithofacies: phytohermal and microdetrital tufa. Phytoherms are dominated by the remains of sedge and grass plant species, whose living stems formed the framework of the deposits. Microdetrital tufas, formed mostly from calcified remains of highly decomposed fallen leaves of trees and dead parts of herbaceous plants, are characterized by a homogeneous porous structure, in which the primary organic substrate is weakly discernible.

A distinctive feature of the studied tufa formations is the presence of numerous ferruginous nodules, represented by randomly distributed ore masses, nest-like iron concretions, and areas with iron inclusions. The conducted researches confirm that the tufa deposits in the Zubra River basin are remnants of carbonate (alkaline) fens, which disappeared due to active and prolonged anthropogenic transformation of the area. The specific vegetation, low water flow, shallow depth, and the presence of bicarbonate-calcium spring waters facilitated the formation of significant deposits of calcareous tufa.

Despite the fact that the discovered travertine deposits with iron ore inclusions have been inactivated due to anthropogenic interference and the alkaline bog is 'dead,' we consider the location we found near the Krotoszyn village to be unique, given its historical, aesthetic, and most importantly, scientific value. The tufa body requires conservation and should be designated as a local geological nature monument, as well as being subject to further in-depth research.

Key words: paludal tufa, calcareous tufa, alkaline fens, geosites, Zubra river basin.