

ВИКОПНА ДЕРЕВИНА – ПАЛЕОБОТАНІЧНИЙ ОБ'ЄКТ ГЕОЛОГІЧНОЇ СПАДЩИНИ УКРАЇНИ: МІСЦЯ ЛОКАЛІЗАЦІЇ, СТРАТИГРАФІЧНЕ ПОЛОЖЕННЯ, МІНЕРАЛОГІЧНИЙ СКЛАД

Ярина Тузяк¹, Уляна Борняк¹, Марина Рагуліна²

¹Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Грушевського, 4, Львів, Україна, 79005
e-mail: ragynatuzyak@gmail.com; ulyana.bornyak@lnu.edu.ua

²Державний природознавчий музей НАН України,
вул. Театральна, 18, Львів, Україна, 79000

Викопна деревина – геологічний феномен національного й міжнародного значення, належить до категорії палеоботанічних пам'яток природи. Це унікальний самоцвіт, який цікавий не тільки своїми декоративними властивостями, а й походженням, яке є предметом дискусій не одного покоління геологів і не має єдиного погляду серед дослідників. Фосилізовані рештки деревини з давніх-давен привертала й надалі привертають увагу науковців, комерсантів, колекціонерів. Це матеріал, який активно використовують у побуті. На сучасному етапі у викопному стані зустрічаються породи деревини різного мінерального складу. Вони можуть бути заміщені карбонатом чи фосфатом кальцію, різними мінералами заліза та міді, оксидом марганцю, флюоритом, баритом, натролітом і смектитовою глиною, гіпсом, гетитом. В окремих випадках скам'яніла деревина може містити прожилки золота, срібла, урану. Найвідомішими, найпоширенішими й найбільш вивченими є фосилізована деревина, мінералізована поліморфними відмінами кремнезему – опалу, халцедону та кварцу. Незалежно від складу процеси мінералізації відбуваються за участі однакових чинників: наявності розчинених елементів, рН, Eh і температури поховання. Також не менш важливими під час мінералізації є проникність деревини й анатомічні особливості. Коли процеси осадження відбуваються в декілька етапів, викопна деревина може мати складну мінералогію.

Метою започаткування досліджень є відтворення цілісної картини еволюції планети Земля з фрагментів геологічного й палеонтологічного літопису на підставі вивчення палеоботанічних залишків території України, яка полягає в з'ясуванні: а) історії досліджень і ревізії досягнених результатів і висновків із зазначеної тематики; б) стратиграфічного положення й систематичної належності палеоботанічних знахідок; в) мінералогічного складу палеофлори та геохімічних умов метасоматозу; г) палеофлористичного скарбу України як пам'ятки природи національного й міжнародного значення з перспективою використання в майбутньому.

Ключові слова: міоцен, скам'яніла деревина, Розточчя, силіцифікація.

Мінерально заміщена деревина значно поширена в осадовому чохла й зустрічається на всіх континентах, починаючи з пізнього палеозою (середній-пізній девон), із часу появи перших деревних рослин і перших лісів [11]. Завдяки природним (геологічним) процесам, які сприяли скам'янінню деревини, отримано неоціненний науковий, археологічний і комерційний матеріал. Різноманітний мінеральний склад зумовив використання викопної деревини в різних сферах людської діяльності (рис. 1).

Хоча скам'яніла деревина відома з часів давніх цивілізацій (античні часи [15; 16], Стародавній Єгипет [13], епоха Відродження [6; 23]), інтерес до неї не втрачений. Так, наприклад, корінне населення центральної частини Вашингтона використовувало викопну деревину для виготовлення наконечників для стріл [19] (рис. 1), у Давньому Єгипті зі скам'янілої деревини

виготовляли амулети й обереги, давнє населення Італії, етруски, використовували фосилізовану деревину для створення релігійних предметів ручної роботи. Трохи згодом ці фосилії почали застосовувати в архітектурі й будівництві як матеріал для декорування, оздоблення тощо [4].



Седліска. Скам'янілий пен'юк біля церкви



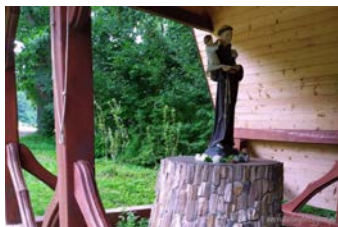
Седліска. Каплиця при костелі



Седліска. Використання скам'янілого дерева в спорудженні надгробків



Седліска. Викопна деревина в музеї



Седліска. Фрагмент каплиці святого Антонія



Седліска. Каплиця святого Флоріана



Рава-Руська. Використання скам'янілого дерева в спорудженні надгробків



Рис. 1. Сфери використання скам'янілої деревини

Такі палеоботанічні знахідки на глобальному рівні рідкісні, приваблюють своєю незвичністю й загадковістю, мають науково-дослідне, культурно-освітнє й комерційне значення. Ці фітофосилії, як і будь-які палеонтологічні рештки, неоціненні. Вони створюють уявлення та розуміння про таксономічний склад порід дерев, які проростали в далекому минулому, палеокліматичні умови середовища, палеоекологічні й палеогеографічні особливості регіонів, у яких вони виявлені. На окрему увагу заслуговують мінеральні заміщення органічної складової викопної деревини, які викликають дискусії в наукових середовищах, залежать від комплексу чинників, мають багатостадійну природу й потребують детального вивчення.

У 1975 р. законодавчий орган штату Вашингтон прийняв скам'янілу деревину як офіційний державний коштовний камінь [19]. Так ці рештки дерев стали об'єктом дослідження різних наукових напрямів – археології, архітектури, природничих наук. Серед спектру геологічних наук вони викликали зацікавлення палеонтологів, які прагнуть зрозуміти еволюцію рослинних спільнот, інтерпретувати палеосередовища й оцінити кліматичні особливості давніх геологічних епох, мінералогів, петрографів і геохіміків, які намагаються з'ясувати процеси метасоматозу й геохімію середовища поховання.

Метою започаткування досліджень є відтворення цілісної картини еволюції планети Земля з фрагментів геологічного й палеонтологічного літопису на підставі вивчення палеоботанічних залишків території України, що полягає в з'ясуванні: а) історії досліджень і ревізії досягнених результатів і висновків із зазначеної тематики; б) стратиграфічного положення й систематичної належності палеоботанічних знахідок, їх середовища поховання; в) мінералогічного складу палеофлори та геохімічних умов метасоматозу; г) палеофлористичного скарбу України як пам'ятки природи національного й міжнародного значення з перспективою використання в майбутньому.

У світовому масштабі «ксілоліти», «петрифікації» або «скам'янілий ліс» розглядають як геологічний скарб (феномен) національного й міжнародного значення. Місця, у межах яких виявлені мінералізовані палеоботанічні залишки – фітофосилії, належать до охоронних територій – національних парків, геопарків або палеопарків [5–7; 9; 12; 13; 15; 16; 22].

Органічна тканина у фосилізованих зразках може бути заміщена різними мінералами. Найпоширенішим і детально вивченим є кремнезем на різних стадіях кристалізації, від аморфного опала через частково кристалізовані форми – кристобаліт, халцедон, аж до кварцу [8; 20; 21 тощо]. В інших випадках деревина минулих геологічних епох може бути мінералізована кальцитом [8; 14; 21], доломітом та апатитом [8; 14; 21], а також такими мінералами заліза, як гематит, гетит і пірит. Широкий огляд петрифікацій різного складу наведено Буурманом [8]. Доведено, що залучення карбонатів заліза, доломіту й, можливо, апатиту сприяє поганому ступеню збереження деревини, ніж у випадку з кремнеземом або кальцитом [14]. До 70-х років ХХ ст. вважали, що в процесі фосилізації деревини бере участь лише один мінерал. Проведені дослідження останніх десятиліть [14; 17–21] із залученням спектра методів довели, що простір клітин і клітинні стінки можуть бути заповнені різними як мінералами, так і поліморфами кремнезему. Новак та ін. [21] виявили, що деякі органічні полімери з первинної деревини можуть бути збережені в клітинній стінці та співіснувати з відкладеними мінералами у вигляді структури, що нагадує органічно-неорганічний композит. Точніше кажучи, це скоріше композитна мінеральна структура, вибірково накладена на залишки оригінальної органічної сітки. На сучасному етапі можна спостерігати різні моделі багатокомпонентної пермінералізації [14].

Процеси мінералізації рослинних решток вивчають давно. Одна з проблем в інтерпретації процесу фосилізації полягає в тому, що силіфікація деревини може відбуватися

в декілька етапів; результати, отримані з однієї місцевості, не можуть бути застосованими до викопних дерев, що походять з інших локацій. Ще одна складність пов'язана з труднощами точної ідентифікації мінералів на основі обмежених аналітичних даних. Це дослідження передбачає вивчення різноманітних наборів даних за допомогою широкої комбінації методів. Результати показують, що силіцифікація деревини може бути надто складною. Заміщена кремнеземом деревина з одного місця може містити кремнезем як у кристалічній, так і в некристалічній формах, ці варіації іноді можна простежити в одному маленькому зразку або навіть у суміжних клітинах.

Можливий підхід до проблеми й з іншого боку. Докладено певних зусиль для скам'яніння деревини штучним способом, що дало хороші результати за відносно короткий (не геологічний) час [10]. Особливий інтерес становила насиченість кремнеземом. Цей процес був освоєний настільки, що в репліках збереглася навіть первинна орієнтація фібрил целюлози. Але в деяких природних умовах процес відбувається й відносно швидко. Таке штучне заміщення компонентів деревини мінералами викликає живий інтерес у галузі матеріалознавства, оскільки припускає, що можна синтезувати цілком нові матеріали на основі структури деревини.

Осадний чохол України також містить фосилізовану деревину, таких місць декілька, кожне є унікальним і заслуговує на увагу. Найбільш відомими є силіцифікована деревина неогену Розточчя, вік якої становить 20–13 млн років, кам'яновугільні петрифікації Донбасу (Дружківка), віком 300–280 млн років. Також є відомості про знахідки ксилолітів у межах Закарпаття, Борислава, Криму, Запоріжжя тощо. Вони являють собою цінність як природні утворення, які не підлягають відтворенню, і становлять частину національної палеоботанічної спадщини України, своєрідні свідчення поєднання середовища формування й геологічних подій, що мали місце на території сучасної України у відповідні відрізки часу геологічного минулого. На сучасному етапі фосилізована деревина України не вивчена з позиції мінералогічного складу. У дослідженні ми розглянемо петрифікації міоцену Розточчя.

Історія виявлення унікальних знахідок міоценової викопної деревини території України сягає глибокої давнини. Через підпорядкування теренів України різним державним устроєм викопну деревину вивчали дослідники різних національностей – поляки, українці та ін. Перші відомості про мінералізовані (скам'янілі) стовбури дерев і їхні фрагменти з'явилися в XV ст. в період Епохи Відродження, коли Ян Дугош (рис. 2) описав їх у «Хроніці» як одну з «двох особливостей польської країни» (cf. Buraczynski, 2002). Він писав, що в околиці Гребенного, на полях і болотах знайдено великі відрізки скам'янілих стовбурів. Я. Дугош уважав, що це соснові стовбури. Однак цьому твердженню суперечить означення скам'янілого дерева, знайденого в повоєнний період в околицях Гарая, згідно з яким це *Taxodioxyton sequoianum* Goth [6; 23]. Звичайно, важко припустити, що на тій території ріс тільки один вид дерев. На жаль, у пошуках істини виникають труднощі. У процесі силіцифікації часто відбувається значне затирання натуральної структури дерева, що ускладнює визначення виду рослин. Як відомо, на польських землях маємо справу з вторинними відкладами, у яких частіше можна сподіватися на виявлення частини дерев, аніж цілого дерева. Поєднання зусиль польських та українських науковців могло б дати добрі результати, тому що в околицях м. Жовкви й с. Глібовичі маємо справу з первинним покладом, у якому можна сподіватися щонайменше на виявлення пилків, які полегшують визначення порід [6; 23].



Рис. 2. Ян Длугош (1415–1480) – польський історіограф, який висунув гіпотезу утворення скам'янілої деревини

У межах польського Розточчя знаходили чимало скам'янілої деревини, яку використовували навіть у будівництві (рис. 1). У селі Седліска на фундаменті із цього матеріалу зведено дзвіницю біля церкви. Розточанський національний парк у Звезинці закупив фундамент із розібраної стодоли, яка складалася з 36 «колод» скам'янілого дерева. У наш час заможні люди скуповують в околицях скам'янілості й роблять із них підлоги, стіни чи димарі. Зусилля обмежити цей промисел переважно невдалі, що пов'язано з великою бідністю та безробіттям місцевого населення, які прагнуть збагачення для задоволення найбільш необхідних потреб. І сьогодні закони не спроможні захистити ці пам'ятки природи від знищення. У вітчизняній літературі відомості про викопну деревину околиць Львова знаходимо в працях Л.М. Кудріна, І.В. Венгліньського, В.О. Горецького та ін. Праці, які б містили детальнішу інформацію про процеси метасоматозу, умови поховання, відсутні. Більше уваги цій проблемі надали закордонні дослідники [5; 7–9; 14–22; 24].

Зазвичай уважають, що силіфікації підлягали виключно голонасінні види, деревина яких насичена смолою, і за наявності твердої деревини важче піддається або не піддається швидкому розкладанню. Однак дійсність може бути дещо іншою. Серед досліджуваних експонатів найчастіше натрапляємо на скам'янілу деревину саме цих видів, але нерідко маємо справу зі скам'янілою деревиною покритонасінних. Про наявність видів листяних порід у давніх лісах цього періоду, що й описувані скам'янілості з Розточчя, знаємо з описів їхніх зелених частин, відбитих у відкладах бурого вугілля в Польщі, а також Україні в глинисто-теригенних утвореннях. Як зазначає З. Лаурув [3], пов'язувати скам'янілості деревини в третинних відкладах із Розточчя тільки із секвоюми, кипарисами чи ялівцями проблематично, тому що види, які ростуть сьогодні, не мають смоляних ходів у деревині, а отже, смоли, яка консервує, у ній не може бути багато. Дослідження дерев'яних стовбурів із шахти в Турошові довели брак смоляних ходів у їхній деревині, а отже, і смоли. У досліджуваних сьогодні зразках скам'янілостей найбільш імовірно, що смоляні ходи таки виступають. Сьогодні смоляні ходи простежуємо в деревині сосни, модрини, ялини й кедрів. Метасеквої можуть мати скупчення клітин смоляних ходів у деревині, а в кипарисів смола може інколи виступати в серцевинних променях. До того ж підтверджено, що в третинних лісах росли також сосни. На поточний момент потрібно достовірно ідентифікувати види скам'янілого дерева або необхідно з'ясувати причини силіфікації майже виключно деревини голонасінних видів. Це однак проблема палеоботаніків. Наприклад, у вікових аналогах США [19], Туреччини серед викопної деревини також трапляються фрагменти покритонасінних. Варто зазначити, що покритонасінні або листяні дерева мають дещо складнішу будову, на відміну від хвойних.

Широке використання засобів дослідження скам'янілої деревини, якими володіємо, вимагає використання сучасної апаратури. Самі описи зовнішнього вигляду скам'янілостей не сприяють отриманню вичерпної інформації. Означення видів скам'янілих дерев вимагає мікроскопічних досліджень. Дотепер користувалися передусім оптичною мікроскопією, завдяки якій можна спостерігати лише тонкий зріз скам'янілостей. Однак багато структурних елементів піддається руйнуванню. Сьогодні науковці користуються іншим інструментом – електронним сканувальним мікроскопом і комп'ютерною томографією, які створюють зображення, близькі до тривимірних, що характеризуються майже непорушеною структурою матеріалу.

Актуальність детальних досліджень викопної деревини міоцену Розточчя полягає у створенні транскордонного геопарку «Кам'яний ліс Розточчя» з метою паспортизації палеонтологічних (палеоботанічних) об'єктів.

Ідея щодо створення міжнародного геопарку на Розточчі ініціювали польські геологи під час реалізації наукового проекту «Геопарк Кам'яний ліс на Розточчі». Останніми роками наукові інституції Кракова, Любліна й Львова розробляють концепцію та програму створення транскордонного геопарку «Кам'яний ліс Розточчя». Прецедент утворення транскордонних геопарків уже відомий на Європейському континенті, зокрема транскордонним є геопарк «Мужакова Дуга» [2; 6], розташований біля кордону між Польщею та Німеччиною. На польській частині Розточчя наукові дослідження щодо створення геопарку розпочато у 2006 р. у рамках національного дослідницького проекту «Кам'яний ліс Розточчя». Цей проект дав змогу здійснити документацію відслонень із фрагментами скам'янілих дерев із роду кипарисових (вид *Taxodium taxodii*) на території Равського Розточчя (околиці Гребенного) [23]. На українській частині Розточчя дослідження щодо створення транскордонного геопарку «Кам'яний ліс Розточчя» розпочато у 2010 р. в рамках підготовки до участі в програмі INTERREG III (Україна – Польща – Білорусь), де українськими співвиконавцями стали представники Львівського національного університету ім. Івана Франка за участю органів місцевої влади Жовківщини.

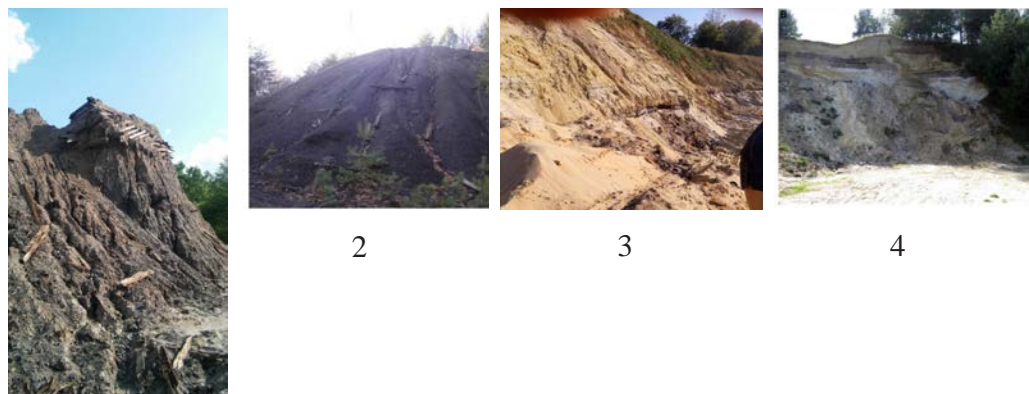
Дослідження ґрунтуються на колекції викопної деревини, зібраної в процесі наукової експедиції 2023 р. в с. Стара Скварява, с. Глинське, с. Заглина, с. Дубрівка, гора Вовковиця (Львівська обл.) (рис. 3). Палеоботанічні рештки походять із міоценових відкладів теригенного складу й пластів бурого вугілля. Збори налічують 13 зразків різного розміру (від 50–60 см до 10–15 см) і забарвлення. Рештки деревини з пластів бурого вугілля – сіруваті, буруваті, чорні; фрагменти фітофосилій із теригенно-карбонатних прошарків – кремкові, рожевуваті, жовтуваті, білі.

Фосилізована деревина зі збереженням анатомічної структури виявлена у відвалах на місці розроблення покладів бурого вугілля, розташованих у межах зчленування Розточчя з Малим Поліссям (Жовква, Скварява, Глинське, Дубрівка, Потелич) і Подільської височини з Малим Поліссям (Вороняки, Підгірці, Ясенів) (рис. 3). Ця зона простягається у вигляді вузької смуги завширшки 7–10 км. У міоцені вони являли собою заболочені території (періодично затоплювані лагуни-озера), які облямовували з півночі Центральний Паратетис.

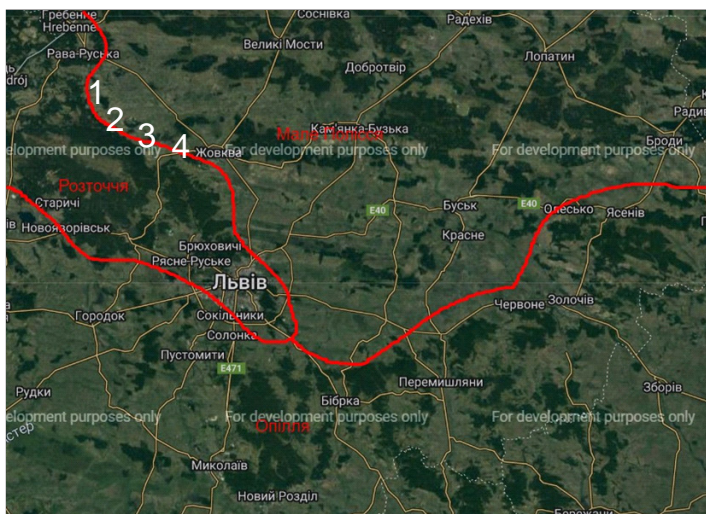
Поклади лігніту мали зазвичай лінзовидну форму й невеликі розміри. Площі окремих покладів не перевищували 2,5–3,0 км², а вугільні пласти залягали на глибині від 5 до 60 м. Ці пласти переважно мали товщину 0,5–1,5 м й зрідка сягали двох і більше метрів [1].

Виявлена скам'яніла деревина представлена силіцифікованими, частково й цілком обвугленими рештками (с. Заглина, с. Дубрівка). Як зазначає А. Кучумов зі співавторами [14], лігнін найчастіше зустрічається серед залишків первинної органічної речовини й чітко простежується в усіх видах деревини, крім апатито-кальцитової. Серед скрем'янілих решток є такі, у яких наявні різні відміни кремнезему (с. Стара Скварява), а є представлені однією відміною (гора Вовковиця).

За уявленнями американських дослідників S. Mitzutani, G. Mustoe і Th. Dillhoff [18–20 тощо], процес петрифікації або силіцифікації є складним і залежить від комплексу чинників і параметрів середовища, наприклад, від порід дерев, геохімії водного басейну та клімату. У живих дерев деревина слугує двом головним цілям: структурна підтримка крони листя і транспортування вгору рідин, що містять поживні речовини. Проникність рідини зберігається в похованих стовбурах дерев, що не дивно, беручи до уваги те, що в живому дереві більша частина внутрішньої тканини мертва. Мінералізація відбувається,



1



1



2



3



4

Рис. 3. Місця локалізації відбору фосилізованої деревини:
1 – с. Заглина (з пластів бурого вугілля), 2 – с. Дубрівка (з пластів бурого вугілля),
3 – с. Стара Скварява (з теригенно-карбонатних шарів);
4 – с. Глинське (з теригенних шарів)

коли мінерали, розчинені в ґрунтових водах, поглинаються похованою деревиною. Початкове відкладення кремнезему зазвичай починається на поверхнях клітинних стінок через «органічну будову». Мінералізація міжклітинних просторів, судин, тріщин та осередків гнилі може відбуватися під час пізніших епізодів, коли геохімічне середовище змінилося. Наприклад, високий рівень розчиненого кремнезему сприяє швидкому випаданню опала, нижчий рівень кремнезему – уповільненню швидкості осадження.

Наприклад, проникність також може бути різною в різних частинах у межах однієї колоди. У деяких лісах у внутрішніх областях «серцевини» є клітини, частково заповнені целюлозною тканиною (тилозом), яка зменшує проникність. Проникність також може відрізнятися серед сусідніх клітин. Це явище пояснює шкоду, яку рослини можуть зазнати під час засухи. Якщо в окремі трахеїди або судини утворюється повітряний проміжок, ця клітина втрачає здатність проводити рідини. Імовірно, це висихання може відбуватися в давніх колодах, які піддавалися впливу атмосферних умов перед похованням. Поглинання й внутрішні перенесення мінералізованих підземних вод також можуть бути пов'язані з наявністю тріщин або гнилих ділянок.

Як ці параметри впливають на силіцифікацію? На мінеральні осадження впливає хімічний склад підземних вод, який може змінюватися з часом. На мінералізацію впливають температура, Eh і рН, що також є змінними чинниками. У результаті клітини з високою проникністю можуть мінералізуватися інакше, ніж клітини з меншою проникністю. З огляду на це, клітини в зовнішній зоні колоди можуть бути несхожими на петрифікацію внутрішніх областей. Деревина, яка містить тріщини або порожнисті ділянки, може мати мінералогію, що відрізняється від цілісних колод.

Наприклад, більшість дерев, які містять змішані угруповання кремнезему (опал, халцедон, кварц), можливо, є результатом послідовних стадій мінералізації за різних геохімічних умов. Ці докази не спростовують можливість трансформації кремнеземних мінералів під час тривалого захоронення, і пошук мінералогічних «відсутніх ланок» залишається метою майбутніх досліджень.

Отже, на сучасному етапі проблема міоценової скам'янілої деревини потребує детальних досліджень. З одного боку, це важливий палеонтологічний матеріал, який містить відклади, у яких відсутні палеоорганізми, з іншого – це об'єкти, які поєднують інформацію про середовище, у якому вони зростали, і процеси поховання й діагенетичних перетворень, які мали місце десятки мільйонів років тому.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Іванов Є., Ваньо Б. Видобування бурого вугілля у Львівській області: історія, сучасний стан і перспективи. *Тенденції та перспективи розвитку науки і освіти в умовах глобалізації*: матеріали Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції (31 січня 2019 р.): збірник наукових праць. Переяслав-Хмельницький, 2019. Вип. 43. С. 15–18.
2. Міжнародний парк «Кам'яний ліс Розточчя»: концепція та програма формування / Ю.В. Зінько, А.Б. Богущкий, В.П. Брусак, Р.М. Гнатюк, О.М. Шевчук, М. Кромпец, Я. Бурачинський. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2010. Вип. 20. № 16. С. 33–45.
3. Лаурув З. Розточанський кам'яний ліс. *Науковий вісник*. 2006. Вип. 16.1. С. 35–44.
4. Сергєєва М.С. Археологічна деревина як джерело для реконструкції господарчої діяльності давньоруського населення Середнього Подніпров'я. *Археологія і давня історія України*. 2017. Вип. 1 (22). С. 302–309.
5. A Mediterranean woody species composition from Late Miocene-Early Pliocene deposits of northeastern Turkey with newly described fossil-taxa palaeoclimatically evaluated / Ü. Akkemik, Ö. Toprak, D. Mantzouka, H. Çelik. *Review of Palaeobotany and Palynology*. Vol. 316. 2023. P. 1–4.

6. Alexandrowicz Z., Alexandrowicz S.W. Geoparks – most valuable landscape parks in Southern Poland. *Geological heritage concept, conservation and protection policy in Central Europe*. Krakow, 2003. P. 11–12.
7. Paleocology and paleoenvironments of Podocarp trees in the Ameghino Petrified forest (Golfo San Jorge Basin, Patagonia, Argentina): Constraints for Early Paleogene paleoclimate / M. Brea, S.D. Matheos, M.S. Raigemborn, A. Iglesias, A.F. Zucol, M. Pramparo. *Geologica Acta: an international earth science journal*. 2011. Vol. 9. № 1. P. 13–28. DOI: 10.1344/105.000001647.
8. Buurman P. Mineralization of fossil wood. *Scripta Geol.* Leiden, 1972. № 12. P. 1–43.
9. Csaszar G., Kazmer M., Erdei B., Magyar I. A possible Late Miocene fossil forest/PaleoPark in Hungary. In: Lipps J.H., Granier B.R.C. (eds.). *PaleoParks – the protection and conservation of fossil sites worldwide. Carnets de Géologie. Notebooks on Geology*. Brest. Book 2009/03. Chapter 11 (CG2009_BOOK_03/11). P. 212–133.
10. Dietrich D., Viney M. Petrifications and wood-templated ceramics: Comparisons between natural and artificial silicification. *IAWA Journal*. 2015. № 36 (2). P. 167–185. DOI:10.1163/22941932-00000094
11. Deming Wang, Min Qin, Le Liu, Lu Liu, Yi Zhou, Yingying Zhang, Pu Huang, Jinzhuang Xue, Shihui Zhang, Meicen Meng. The Most Extensive Devonian Fossil Forest with Small Lycopsid Trees Bearing the Earliest Stigmarian Roots. *Current Biology*. 2019. Vol. 29. Issue 16. P. 2604–2615.e2 URL: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.06.053>.
12. Kazmer M. The Miocene Bükkábrány Fossil Forest in Hungary – field observations and project outline. *125th Anniversary of the Department of Palaeontology at Budapest University – A Jubilee Volume Hantkeniana*. Budapest, 2008. № 6. P. 229–244.
13. Kholoud Mohamed A.M., Wael M. Al-Metwaly. Maadi Petrified Forest in Cairo, Egypt, as a Geologic Heritage Under Urbanization Pressure. *Geoheritage*. 2020. № 12 (2). P. 43–54. DOI: 10.1007/s12371-020-00465-4.
14. Kuczumow A., Nowak J., Kuzioła R., Jarzębski M. Analysis of the composition and minerals diagrams determination of petrified wood. *Microchemical Journal*. 2019. Vol. 148. P. 120–129.
15. Mantzouka D., Karakitsios V., Sakala J. Cedroxylon lesbium (UNGER) KRAUS from the Petrified Forest of Lesbos, lower Miocene of Greece and its possible relationship to Cedrus. *N. Jb. Geol. Paläont. Abh.* Stuttgart, 2017. № 284/1. P. 75–87.
16. Forest of Lesbos Island (Greece): A Palaeobotanical Puzzle of a Unique Geopark and the New Discoveries / D. Mantzouka, J. Sakala, Z. Kvacek, E. Koskeridou, V. Karakitsios. Petrified. *World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium (WMESS 2018)*: IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 221 (2019) 012146. P. 1–11. DOI: 10.1088/1755-1315/221/1/012146.
17. Mitzutani S. Silica minerals in the early stages of diagenesis. *Sedimentology*. 1970. № 15. P. 419–436.
18. Mustoe G.E. Late Tertiary petrified wood from Nevada, USA: Evidence of multiple silicification pathways. *Geosciences*. 2015. № 5. P. 286–309.
19. Mustoe G.E., Dillhoff Th.A. Mineralogy of Miocene Petrified Wood from Central Washington State, USA. *Minerals*. 2022. № 12 (2). P. 1–31.
20. Mustoe G.E. Mineralogy of Non-Silicified Fossil Wood. *Geosciences*. 2018. Вип. 8. № 85. P. 1–32. DOI: 10.3390/geosciences8030085.
21. Nowak J. et al. Composite structure of wood cells in petrified wood Author links open overlay panel. *Materials Science and Engineering: C*. 28 April 2005. Vol. 25. Issue 2. P. 119–130.
22. Sigleo A.C. Geochemistry of silicified wood and associated sediments, Petrified Forest National Park, Arizona. *Chemical Geology*. 1979. Vol. 26. Issues 1–2. P. 151–163.
23. Skamieniałe drzewa i długoszowa hipoteza. URL: http://roztocze.it.home.pl/roztocze/texts/prz002.htm#_fr16.
24. Multi-stage silicification of Pliocene wood: Re-examination of a 1985 discovery from Idaho, USA / M. Viney, D. Dietrich, G.E. Mustoe, P. Link, T. Lampke, J. Götze, R. Rößler. *Geosciences*. 2016. № 6. P. 1–21.

REFERENSES

1. Ivanov Ye., Vano B. (2019). Vydobuvannia buroho vuhillia u Lvivskii oblasti: istoriia, suchasnyi stan i perspektyvy [Brown coal mining in Lviv region: history, current state and prospects]. *Tendentsii ta perspektyvy rozvytku nauky i osvity v umovakh hlobalizatsii*. Materialy Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi internet-konferentsii (31 sichnia 2019 r.): zbirnyk naukovykh prac. Pereiaslav-Khmelnitskyi. Vyp. 43, pp. 15–18 [in Ukrainian].
2. Zinko Yu.V., Bohutskyi A.B., Brusak V.P., Hnatiuk R.M., Shevchuk O.M., Krompiets M., Burachynskyi Ya. (2010). Mizhnarodnyi park «Kamianilyi lis Roztocze»: kontseptsiiia ta prohrama formuvannia [International Park «Stone Forest Roztocze»: concept and program of formation]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*. Vyp. 20.16, pp. 33–45.
3. Lauruv Z. (2006). Roztochanskyi kamiani lis [Roztocze stone forest]. *Naukovyi visnyk*. Vyp. 16.1, pp. 35–44.
4. Serhieieva M.S. (2017). Arkheolohichna derevyna yak dzherelo dlia rekonstruktsii hospodarchoi diialnosti davnoruskoho naseleння Serednoho Podniprovia [Archaeological wood as a source for the reconstruction of the economic activity of the ancient Russian population of the Middle Dnieper region]. *Arkheolohiia i davnia istoriia Ukrainy*. Vyp. 1 (22), pp. 302–309.
5. Akkemik Ü., Toprak Ö., Mantzouka D., Çelik H. (2023). A Mediterranean woody species composition from Late Miocene-Early Pliocene deposits of northeastern Turkey with newly described fossil-taxa palaeoclimatically evaluated. *Review of Palaeobotany and Palynology*. Vol. 316, pp. 1–4.
6. Alexandrowicz Z., Alexandrowicz S. W. (2003). Geoparks – most valuable landscape parks in Southern Poland. *Geological heritage concept, conservation and protection policy in Central Europe*. Krakow, pp. 11–12.
7. Brea M., Matheos S.D., Raigemborn M.S., Iglesias A., Zucol A.F., Pramparo M. (2011). Paleoeology and paleoenvironments of Podocarp trees in the Ameghino Petrified forest (Golfo San Jorge Basin, Patagonia, Argentina): Constraints for Early Paleogene paleoclimate. *Geologica Acta: an international earth science journal*. Vol. 9. №. 1, pp. 13–28. DOI: 10.1344/105.000001647.
8. Burman P. (1972). Mineralization of fossil wood. *Scripta Geol.*, 12. Leiden, pp. 1–43.
9. Csaszar G., Kazmer M., Erdei B., Magyar I. (2009). A possible Late Miocene fossil forest PaleoPark in Hungary. In: Lipps J.H., Granier B.R.C. (eds.). *PaleoParks – the protection and conservation of fossil sites worldwide*. *Carnets de Géologie. Notebooks on Geology*, Brest, Book. Chapter 11 (CG2009_BOOK_03/11), pp. 212–133.
10. Dietrich D., Viney M. (2015). Petrifications and wood-templated ceramics: Comparisons between natural and artificial silicification. *IAWA Journal*. 36(2), pp. 167–185. DOI:10.1163/22941932-00000094.
11. Deming Wang, Min Qin, Le Liu, Lu Liu, Yi Zhou, Yingying Zhang, Pu Huang, Jinzhuang Xue, Shihui Zhang, Meicen Meng. (2019). The Most Extensive Devonian Fossil Forest with Small Lycopsid Trees Bearing the Earliest Stigmarian Roots. *Current Biology*. Vol. 29, Issue 16, pp. 2604-2615. e2 <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.06.053>.
12. Kazmer M. (2008). The Miocene Bükkábrány Fossil Forest in Hungary – field observations and project outline. *125th Anniversary of the Department of Palaeontology at Budapest University – A Jubilee Volume Hantkeniana* 6, Budapest, pp. 229–244.
13. Kholoud Mohamed A.M., Wael M. (2020). Al-Metwaly Maadi Petrified Forest in Cairo, Egypt, as a Geologic Heritage Under Urbanization Pressure. *Geoheritage*. 12(2), pp. 43–54. DOI:10.1007/s12371-020-00465-4.
14. Kuczumow A., Nowak J., Kuzioła R., Jarzębski M. (2019). Analysis of the composition and minerals diagrams determination of petrified wood. *Microchemical Journal*. Vol. 148, pp. 120–129.
15. Mantzouka D., Karakitsios V., Sakala J. (2017). Cedroxylon lesbium (UNGER) KRAUS from the Petrified Forest of Lesbos, lower Miocene of Greece and its possible relationship to Cedrus. *N. Jb. Geol. Paläont. Abh.* 284/1. Stuttgart, pp. 75–87.
16. Mantzouka D., Sakala J., Kvacek Z., Koskeridou E., Karakitsios V. (2019). Petrified Forest of Lesbos Island (Greece): A Palaeobotanical Puzzle of a Unique Geopark and the New Discoveries. *World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium (WMES)*

- 2018): IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 22. 012146, pp. 1–11. DOI: 10.1088/1755-1315/221/1/012146.
17. Mitzutani S. (1970). Silica minerals in the early stages of diagenesis. *Sedimentology*. 15, pp. 419–436.
 18. Mustoe G.E. (2015). Late Tertiary petrified wood from Nevada, USA: Evidence of multiple silicification pathways. *Geosciences*. 5, pp. 286–309.
 19. Mustoe G.E., Dillhoff Th.A. (2022). Mineralogy of Miocene Petrified Wood from Central Washington State, USA. *Minerals*. 12 (2), pp. 1–31.
 20. Mustoe G.E. (2018). Mineralogy of Non-Silicified Fossil Wood. *Geosciences*. 8. 85, pp. 1–32. DOI: 10.3390/geosciences8030085.
 21. Nowak J. et al. (2005). Composite structure of wood cells in petrified wood Author links open overlay panel. *Materials Science and Engineering: C*. Vol. 25. Issue 2, pp. 119–130.
 22. Sigleo A.C. (1979). Geochemistry of silicified wood and associated sediments, Petrified Forest National Park, Arizona. *Chemical Geology*. Vol. 26. Issues 1–2, pp. 151–163.
 23. Skamieniałe drzewa i Długoszowa hipoteza – http://roztocze.it.home.pl/roztocze/texts/prz002.htm#_fr16.
 24. Viney M., Diétrich D., Mustoe G.E., Link P., Lampke T., Götze J., Rößler R. (2016). Multi-stage silicification of Pliocene wood: Re-examination of a 1985 discovery from Idaho, USA. *Geosciences*. 6, pp. 1–21.

PETRIFIED WOOD – PALEOBOTANICAL OBJECT OF GEOLOGICAL HERITAGE OF UKRAINE: LOCALIZATION SITES, STRATIGRAPHIC POSITION, MINERAL COMPOSITION

Yaryna Tuzyak¹, Ulyana Bornyak¹, Maryna Ragulina²

¹*Ivan Franko National University of Lviv,
Hrushevsky Str, 4, Lviv, Ukraine, 79005
e-mail: yarynatuzyak@gmail.com; ulyana.bornyak@lnu.edu.ua*

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

Petrified wood is a geological phenomenon of national and international importance, belongs to the category of paleobotanical natural monuments. This is a unique gem, which is interesting not only for its decorative properties, but also for its origin, which is the subject of discussion of more than one generation of geologists and does not have a single view among researchers. Fossilized wood remains have long attracted and attracted the attention of scientists, merchants, collectors. This is a material that is actively used in everyday life. At the present stage, wood species of various mineral compositions are found in the fossil state. They can be replaced by calcium carbonate or phosphate, various iron and copper minerals, manganese oxide, fluorite, barite, natrolite and smectite clay, gypsum, goethite. In some cases, fossilized wood may contain veins of gold, silver, uranium. The most famous, most common and most studied is the fossilized wood mineralized by polymorphic cancellations of silica – opal, chalcedone and quartz. Regardless of the composition, mineralization processes occur with the participation of the same factors: the presence of dissolved elements, pH, Eh and burial temperature. Also equally important in mineralization are the permeability of wood and anatomical features. When deposition processes occur in several steps, fossil wood can have complex mineralogy.

The purpose of the research is to recreate a holistic picture of the evolution of the planet Earth from fragments of the geological and paleontological record based on the study of the paleobotanical remains of the territory of Ukraine, which consists in clarifying: a) the history of research and revision of the results achieved and conclusions on this topic; b) stratigraphic position and systematic affiliation of paleobotanical finds; c) mineralogical composition of paleoflora and geochemical conditions of metasomatism; d) the paleofloristic treasure of Ukraine as a natural monument of national and international importance with the prospect of use in the future.

Key words: Miocene, petrified wood, Roztocze, silicification.