

<https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2024.2.296417>
УДК 549:552.111:550.4:552.333.5 (477.8)

E-mail: natalja_bats@ukr.net,
<http://orcid.org/0000-0002-0644-5364>;
naumko@ukr.net,
<http://orcid.org/0000-0003-3735-047X>;
fedoryshyn388@ukr.net,
<http://orcid.org/0000-0003-4005-0427>

*Corresponding author /
Автор для кореспонденції:
Н.В. Бацевич, natalja_bats@ukr.net

Received / Надійшла до редакції:
09.01.2024

Received in revised form /
Надійшла у ревізованій формі:
10.05.2024

Accepted / Прийнята:
05.06.2024

Keywords: mineralogy; petrography;
petrochemistry; tuffs; Babynska suite;
continental flood basalts; Western
Volyn..

Ключові слова: мінералогія;
петрографія; петрохімія; туфи;
бабинська світа; трапова формація;
Західна Волинь.

Туфи бабинської світи трапової формації Західної Волині: мінералогія, петрографія, петрохімія, генетичне і прикладне значення

Н.В. Бацевич^{1*}, І.М. Наумко¹, Ю.І. Федоришин²

¹ Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна; ² Львівське відділення
УкрНДІгазу, Львів, Україна

The Babynska suite tuffs of the continental flood basalts of Western Volyn: mineralogy, petrography, petrochemistry, genetic and applied significance

N.V. Batsevych¹, I.M. Naumko¹, Yu.I. Fedoryshyn²

¹ Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of the NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine;
² Lviv Branch of the Ukrainian Gas Research Institute, Lviv, Ukraine

According to the data of comprehensive precision research, the spatial distribution and mineral composition were revealed, the petrographic and petrochemical features, and the genetic and practical significance of the Babynska effusive-pyroclastic suite tuffs of the continental flood basalts of Western Volyn were clarified in connection with the copper content. The thicknesses and hypsometry of the relief of the paleosurface of the pyroclastic formations of the Babynska suite were analyzed and the important elements of its vertical and lateral structure (by area) were clarified, the real picture of which is reflected in the constructed maps of the thicknesses and relief of the paleosurface of the pyroclastic formations of the suite, in particular, on the Ratne–Kamin–Kashyrsk Area. The formation of the Babynska suite tuffs in the regime of gravitational deposition of pyroclastic material with the accumulation of tuff deposits at the stage of incomplete solidification of volcanic material and the formation of coarse, non-rhythmic layering, without clear signs of redeposition, i.e. of volcanomictic origin, has been proven. Differences in the mineral composition and petrochemistry of tuffs of different colors: gray-green and red-brown were found. Emphasis is placed on the enrichment of native copper in tuffs of gray-green color and possible explanations for this correlation are proposed. The obtained results from a genetic point of view provide important information for paleovolcanogenic and paleogeographical reconstructions, in practical terms they contribute to the improvement of the copper bearing prospects of volcanogenic layers of the continental flood basalts and can be proposed for use by production organizations of the geological profile.

© Видавець Інститут геологічних наук
НАН України, 2024. Стаття опублікована за
умовами відкритого доступу за ліцензією
CC BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

© Publisher Institute of Geological Sciences
of the NAS of Ukraine, 2024. This is an open
access article under the CC BY-NC-ND license
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

Цитування: Бацевич Н.В., Наумко І.М., Федоришин Ю.І. Туфи бабинської світи трапової формації Західної Волині: мінералогія, петрографія, петрохімія, генетичне і прикладне значення. *Геологічний журнал*. 2024. № 2 (387). С. 18–34. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2024.2.296417>

Citation: Batsevych N.V., Naumko I.M., Fedoryshyn Yu.I. 2024. The Babynska suite tuffs of continental flood basalts of the Western Volyn: mineralogy, petrography, petrochemistry, genetic and applied significance. *Geologichnij zhurnal*, 2 (387): 18–34. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2024.2.296417>

Вступ

Пірокластичні породи значно поширені у мінеральних комплексах України (Ткачук, 1977). Визначальне місце посідають продукти експлозивної діяльності і в складі трапової формації Західної Волині (Лазаренко та ін., 1960). Насамперед – це осадово-вулканогенна волинська серія (Лазаренко, Воловник, 1969; Приходько та ін., 1993), складена базальтами в асоціації з туфами, туфітами і туфобрекчіями, сформованими у процесах інтенсивної вулканічної діяльності у ранньоедіакарський час.

До характерної особливості пірокластичних відкладів у складі трапової формації Західної Волині належить їхнє перешарування між собою і з базальтовими покривами: на заболотівській базальтовій світі залягає туфова товща бабинської світи, яка, в свою чергу, перекривається лучичівською світою, складеною здебільшого базальтами, яку у складі ратнівської світи перекривають вулканоміктові зорянські верстви, останні ж перекриваються якушівськими верствами (численні потоки базальтів з прошарками туфів) (Мельничук, 2010). Саме бабинська ефузивно-пірокластична світа (V₁bb) серед стратифікованих одиниць волинської серії виділяється значною перевагою експлозивного матеріалу, зокрема туфів і пізолітів. Безпосередньо на денну поверхню відклади бабинської світи виходять на півночі і північному заході від м. Камінь-Каширський. Власне значне поширення і специфічний склад світи слугували підставою для комплексного вивчення туфів як важливих складових бабинської світи в генетичному і прикладному аспектах. Непересічна значущість досліджень такого плану лише зростатиме з огляду на зростання попиту на мідь як критичну стратегічну сировину, родовища якої в Україні пов'язують головно з перспективно міденосними відкладами трапової формації едіакарію Західної Волині.

З цих передумов й випливає мета статті – дослідити мінеральний склад та виявити петрографічні і петрохімічні особливості туфів бабинської ефузивно-пірокластичної світи Західної Волині у зв'язку з міденосністю, отримати нові дані про особливості самородномідного рудоутворення та розподіл самородномідної мінералізації у туфах.

Геологічний нарис району дослідження

Прояви трапової формації відбувалися часто і неодноразово в історії Землі, починаючи з моменту виникнення платформ. Тому вони трапляються в межах платформних областей земної кори по усьому світу та у широкому віковому інтервалі: від докембрію (трапи північної частини штату Мічиган, трапова формація Волині) до олігоцену (східна Африка) і міоцену (Колумбія Рівер, Північна Америка), але найбільших масштабів виливи досягали в тріасовому–юрському періоді та в кінці крейди–на початку палеогену.

Досліджувані нами трапи Західної Волині за часом утворення збігаються з трапами Північної Америки як найдавніші утворення серед трапів світу і найбільш подібні за генетичними особливостями.

Дана територія входить до крупної крайової структури Східноєвропейської платформи (СЄП) – Балтійсько-Придністровської зони перикратонних прогинів (Зиновенко, 1986).

Ареал поширення трапової формації утворює найбільшу в межах СЄП магматичну провінцію, яка займає значну територію на сході Польщі, південному заході Білорусі, північному заході України (Волинь і Поділля), у вигляді вузького «язика» заходить в межі Молдовського Придністров'я, протягуючись з півночі–північного заходу на південь–південний схід майже на 800 км при ширині в центральній частині близько 300 км. Палеоструктури, складені відкладами трапової формації, наразі зрізані вздовж південно-західного краю СЄП зоною Тейссейре-Торнквіста як складовою Трансєвропейської сутурної зони – межею між Східноєвропейським кратоном і фанерозойськими орогенами південно-західної Європи (Narkiewicz et al., 2015). Значні межі поширення пірокластичного матеріалу засвідчує схема поширення та будови товщі цеоліт-сметитових вулканічних туфів нижнього едіакарію в південно-західній частині СЄП (рис. 1) (Мельничук, 2008).

За даними (Мельничук В., Мельничук Г., 2022), неопротерозойська ератема на Волині і Поділлі представлена одними з найповніших в Європі і світі розрізами вулканогенно-осадових утворень загальною товщиною до 1500 м. Зокрема, геологічну будову району розвитку трапової формації Західної Волині визначає осадово-вулканогенна волинська серія нижнього едіакарію.

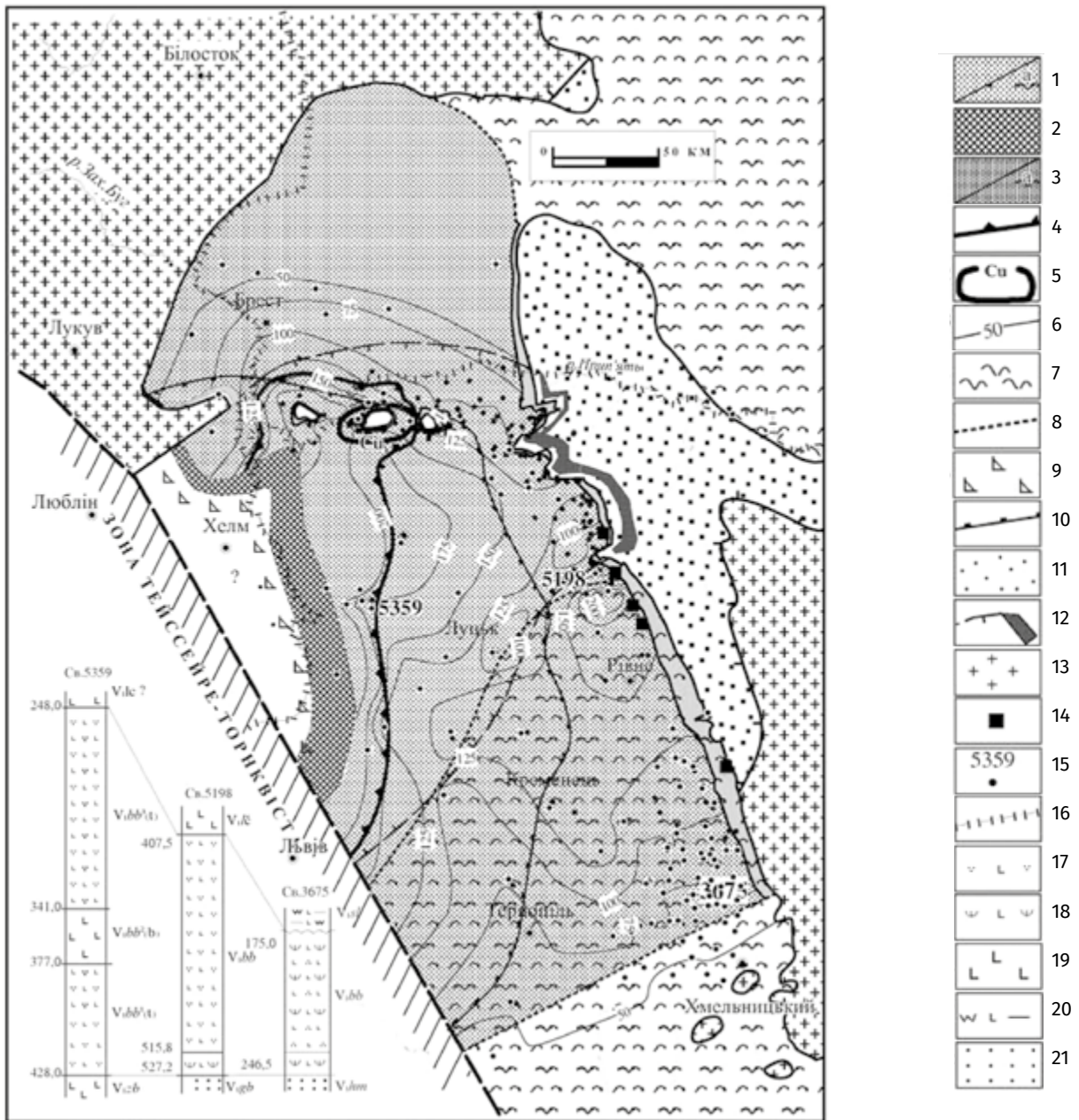


Рис. 1. Схема поширення та будови товщі цеоліт-сметитових вулканічних туфів нижнього едіакарію в південно-західній частині СЄП за (Мельничук, 2008): 1-3 – ділянки поширення товщі цеоліт-сметитових туфів (а – з шарами туффітів): 1 – під стратонами нижньоєдіакарської волинської серії, 2 – під стратонами верхньоєдіакарської могилів-подільської серії, 3 – під мезозойсько-кайнозойськими відкладами; 4 – контур покриву толеїтових базальтів у туфовій товщі; 5 – контур вивченого мідного зруденіння в горизонтах 2А і 2В; 6 – ізопахіти туфової товщі; 7 – вулканогенно-осадові товщі нижнього едіакарію; 8 – фаціальні границі; 9-10 – покриви олівінових базальтів заболотівської світи нижнього едіакарію: 9 – під верхньоєдіакарськими відкладами, 10 – контур їхнього поширення під туфовою товщею нижнього едіакарію; 11 – олігоміктові теригенні відклади поліської серії (середній-верхній рифей) та горбашівської світи (нижній едіакарій); 12 – сили титанистих габро-долеритів пізнього едіакарію? і контур їхнього поширення; 13 – архейсько-нижньопротерозойський кристалічний фундамент; 14 – кар'єри, що розкрили туфову товщу; 15 – свердловини, що розкрили туфову товщу, та їхній номер; 16 – державні кордони. На колонках: 17 – цеоліт-сметитові вулканічні туфи, 18 – туффіти, 19 – базальти, 20 – вулканоміктові алевроліти, 21 – олігоміктові пісковики і гравеліти, V₁ – стратони нижнього едіакарію (gb – горбашівська світа, bb – бабинська світа та бабинські верстви пригоринської світи, lc1 – лучичівські верстви), sl – слутська світа, hm – хоморські верстви)

Fig. 1. Scheme of the distribution and structure of a layer of zeolite-smectite volcanic tuffs of the Lower Ediacaran in the south-western part of the SEP according to (Melnychuk, 2008): 1-3 – distribution areas of zeolite-smectite tuff layers (a – with layers of tuffites): 1 – under the strata of the Lower Ediacaran Volyn series, 2 – under the strata of the Upper Ediacaran Mohyliv-Podillya series, 3 – under the Mesozoic-Cenozoic sediments; 4 – outline of the cover of tholeiitic basalts in the tuff layer; 5 – contour of studied copper mineralization in horizons 2A and 2B; 6 – isopachites of the tuff layer; 7 – volcanogenic-sedimentary strata of the lower Ediacaran; 8 – facial boundaries; 9-10 – covers of olivine basalts of the Zabolotyya suite of the Lower Ediacaran: 9 – under the Upper Ediacaran deposits, 10 – the outline of their distribution under the tuff layer of the Lower Ediacaran; 11 – oligomictic terrigenous sediments of the Polissya series (Middle-Upper Riphean) and Gorbashiv suite (Lower Ediacaran); 12 – strength of late Ediacaran titanic gabbro-dolerites? and the outline of their distribution; 13 – Archean-Lower Proterozoic crystalline foundation; 14 – quarries that revealed the tuff layer; 15 – wells that revealed the tuff layer and their number; 16 – state borders. On the columns: 17 – zeolite-smectite volcanic tuffs, 18 – tuffites, 19 – basalts, 20 – volcanomictic siltstones, 21 – oligomictic sandstones and gravelites, V₁ – Lower Ediacaran strata (gb – Gorbashiv suite, bb – Babyno suite and Babyno strata of Prygorynsk suite, lc1 – Luchychi strata), sl – Slutsk suite, hm – Khomor strata)

Породи бабинської світи залягають по-різному на лежачих нижче породах: згідно на відкладах заболотівської світи, незгідно на породах горбашівської світи та польської серії. В межах апікальних частин Гірницького та Хотешівського підняття утворення бабинської світи відсутні. Отже, можна констатувати, що названі утворення характеризуються складними і нерівнозначними умовами залягання і поширення.

Гіпсометрично глибина залягання поверхні змінюється від -368,5 м (св. 11) до 0,8 м (св. 14). Товщина відкладів дуже мінлива: від значень, близьких до 0 м поблизу підняття, до майже 170 м (169,6 м) у південно-західній частині площі (св. 5840).

За оновленою стратиграфічною схемою неопротерозою Волино-Поділля в розрізі волинської серії виділяють п'ять світ (знизу вверху) (Мельничук В., Мельничук Г., 2022):

1. горбашівська – гравеліто-пісковикова з домішками пірокластики (15–60 м);
2. заболотівська – базальтова з прошарками туфів (0–345 м);
3. бабинська – туфова з окремими потоками базальтів і пізолітів (90–235 м);
4. лучичівська – складена кількома (до п'яти) покривами базальтів, розшарованих пачками лавокластичних брекчій (0–117 м);
5. ратненська – базальтова зі шлейфами лавокластичних брекчій, горизонтами туфів, туфітів і туфоконгломератів (50–195 м).

Пірокластичні утворення вказаних підрозділів мають важливе геологічне (зокрема й петрологічне) та металогенічне значення. Збір, вивчення та аналіз геологічних матеріалів дозволяє розкрити особливості формування вулканічних утворень, їхнє поширення в межах Ратненсько-Камінь-Каширської площі, генетичний зв'язок з ефузивною частиною формації, характер поширення самородномідного зруденіння та його генезис.

Ми вважаємо, що отримані нові дані актуальні не лише для згаданої площі, яка займає приблизно 1100–1200 км² в центральній та західній частинах Волинсько-Поліського прогину, але поширюються на всю територію розвитку трапової формації у південно-західній частині СЄП. Вони дають змогу об'єктивно істотно доповнити, а певною мірою й переглянути наші уявлення на формування волинської серії та самородномідного зруденіння як її невід'ємної складової.

Аналіз попередніх досліджень, формулювання проблеми, актуальність її вирішення

Найраніші роботи, в яких йдеться мова про пірокластичні породи трапової формації, належать польським геологам Ю. Токарському і М. Каменському. Ними вперше розглянуто хімізм туфових утворень, які, щоправда, фігурували під назвами «трахітів» і «латитів».

Після Другої світової війни трапову формацію і, зокрема, туфи Західної Волині почали вивчати радянські геологи. Це знані дослідники «базальтової» проблематики північно-західного схилу Українського щита Л.Г. Бернадська, Б.Я. Воловник, Т.А. Кленова, Г.П. Шраменко, З.Г. Ушакова та ін., а також колектив авторів відомої монографії «Мінералогія вивержених комплексів Західної Волині» (Лазаренко та ін., 1960).

У праці М.П. Семененка зі співавторами (Семененко та ін., 1976) туфи і туфогенно-осадкові породи лише згадуються як обов'язкові компоненти розрізу трапової формації, але будь-яка їхня характеристика відсутня.

Доволі детально вулканічні утворення трапової формації та її пірокластичну складову схарактеризовано у колективній монографії, присвяченій пірокластичним породам України (Ткачук, 1977). В цій книзі детально описано відміни туфів, які ідентифіковано у складі трапової формації Західної Волині.

Основним джерелом надходження інформації в подальші роки, яка стосується не лише туфів, але й трапової формації загалом і супровідного самородномідного зруденіння, були такі праці, як (Шумлянський та ін., 1991), звітні матеріали за результатами планових геологознімальних робіт масштабів 1:200 000 і 1:50 000, тематичні роботи, що проводилися науковцями НАН України, насамперед Інституту геологічних наук. Їхні результати видавалися у вигляді тематичних збірників під загальною назвою «Наукові праці Інституту фундаментальних досліджень», окремі з яких були присвячені мідно-базальтовій тематиці, наприклад (Мідь..., 2002). На сучасному етапі продовжується вивчення пірокластичних порід (Мельничук, 2008, 2010, 2022). У цьому контексті дуже важливі й інформативні дані про генезис самородної міді, отримані за ізотопним складом міді (Bornhorst, Mathur, 2017; Brown, 2018). Однак, оскільки вони загалом відображають авторські погляди лише на генетичну модель (в альтернативній інтерпретації) формування унікальних

самородноідних родовищ на п-ві Ківіно (штат Мічиган, США), то їх складно поширити на досліджувані нами перспективно міднорудні пірокластичні комплекси.

Отже, якщо загалом пірокластичний матеріал усіх стратифікованих одиниць волинської серії піддавався низці досліджень, то туфи, які входять до їхнього складу, вивчалися спорадично. Звідси випливає потреба комплексних досліджень повних розрізів бабинської світи і зорянської товщі (від підшови до покрівлі), в яких фіксується значна перевага експлозивного матеріалу, на предмет вивчення просторового поширення і мінерального складу, виявлення петрографічних і петрохімічних особливостей та генетичного значення туфів загалом і пізолітових туфів зокрема. Їхні знахідки надають важливу інформацію для палеовулканогенних і палеогеографічних реконструкцій та прогнозування і пошуків корисних копалин, пов'язаних з трапами. У такому контексті наголосимо на значній поширеності вулканокластичних утворень в трапових формаціях світу (Ross et al., 2005). У підсумку це й визначає актуальність нашої роботи, насамперед у зв'язку з перспективами міденосності.

Фактичний матеріал та методологія досліджень

Польові геологічні дослідження включали опис штупів і керн, відбір проб для аналітичних визначень. Для вивчення і складання типового розрізу бабинської світи використано керновий матеріал зі св. 4558.

Мінералогічні дослідження. Діагностування мінералів проводили за допомогою рентгенофазового аналізу (Львівський національний університет ім. Івана Франка, геологічний факультет). Ідентифікацію глинистих мінералів здійснювали за результатами рентгенометричного аналізу, який застосовують при дослідженні твердих речовин з кристалічною структурою (Михеев, 1957; Дриц, Сахаров, 1976). Головним методом рентгенометричного аналізу є дебаєвський або порошковий, що ґрунтується на дифракції рентгенівського проміння. Дифрактограми знімали на апараті ДРОН-3 за таких параметрів: Cu-антикатод; $K\alpha$ – випромінювання, напруга – 40 кВ; сила струму – 25 мА; швидкість обертання $1^\circ/\text{хв}$; інтервал знімання – $4-65^\circ$.

Прозорі та прозоро-поліровані шліфи вивчали на поляризаційних мікроскопах OLYMPUS CX41 та ПОЛАМ 312.

Геохімічні дослідження. Вміст основних хімічних компонентів порід встановлювали методом валового хімічного аналізу, вміст міді визначали методом атомно-абсорбційного аналізу (хімічна лабораторія відділу геохімії осадових товщ нафтогазоносних провінцій ІГГК НАН України, аналітики Л.К. Білик, В.Л. Крижевич).

Результати та їхнє обговорення

З огляду на анонсовану мету, нами вперше проведено комплексні геолого-структурні, петрографічні, мінералогічні, петрохімічні дослідження туфів бабинської світи для більш чіткого розуміння умов формування цього специфічного об'єкта, так і їхнього генетичного і прикладного значення.

Геолого-структурні дослідження. Нами проведено аналіз товщин і гіпсометрії рельєфу палеоповерхні у розрізах численних свердловин, які розкрили утворення бабинської світи в межах Ратненсько-Камінь-Каширської площі, де бабинська світа має найзначніше поширення в південно-західній та північно-західній частинах площі дослідження.

В результаті вдалося з'ясувати важливі нюанси розподілу товщин і рельєфу палеоповерхні у розрізі бабинської світи по вертикалі і латералі (по площі), реальну картину яких відображають побудовані нами відповідні карти (подібно до базальтів лучичівської світи (Naumko et al., 2021)).

Свердловини, які перетнули утворення бабинської світи, приурочені до ділянок з максимальною товщиною. Це слугувало основою для побудови карти рельєфу палеоповерхні пірокластичних утворень бабинської світи (рис. 2, а) та карти товщини (рис. 2, б), зокрема, в межах Ратненсько-Камінь-Каширської площі. При цьому був застосований метод інтерполяції для всіх свердловин, пробурених на сьогодні в її межах.

Варто зазначити, що просторове розташування різних за формою ділянок зростання або досягнення максимальної товщини відкладів бабинської світи не є хаотичним, а утворює доволі чітку картину, яка безперечно зумовлена тектонічною історією. З одного боку, це кільцеве розташування зазначених ділянок навколо підняття, що розташоване в центральній частині площі досліджень, з іншого – фрагменти ланцюжкового поширення, яке має добре проявлене просторове розташування. Основними напрямками такого ланцюжкового розташування є (за ступенем прояву) північно-західне та північно-східне.

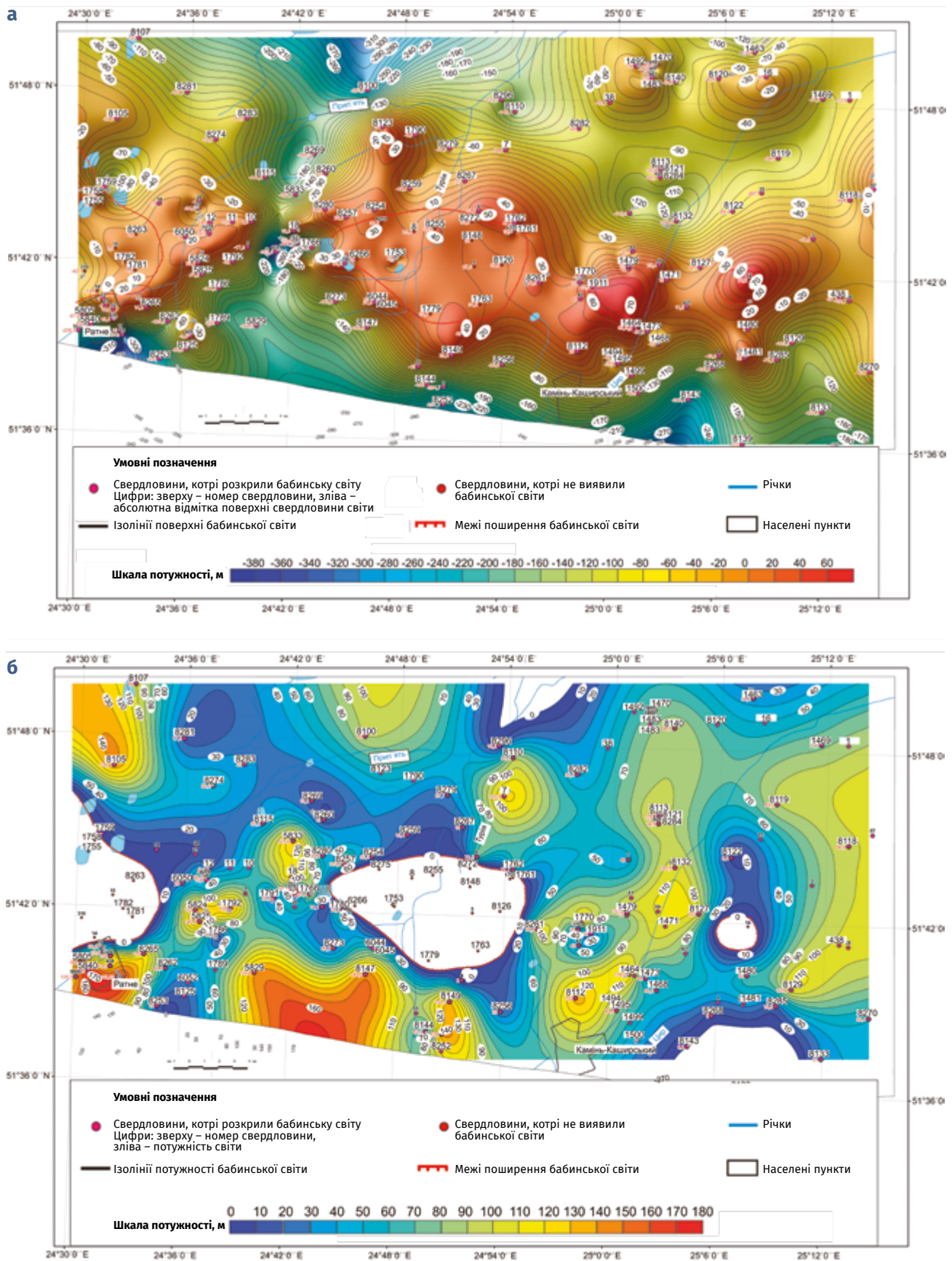


Рис. 2. а) Карта рельєфу палеоповерхні пірокластичних утворень бабинської світи в межах Ратненсько–Камінь-Каширської площі. М 1:100 000. Склад І.В. Репін за безпосередньої участі Н.В. Нестерович (Бацевич); б) Карта товщин пірокластичних утворень бабинської світи в межах Ратненсько–Камінь-Каширської площі. М 1:100 000. Склад І.В. Репін за безпосередньої участі Н.В. Нестерович (Бацевич)

Fig. 2. а) Relief map of the paleosurface of the pyroclastic formations of the Babynska suite within the limits of the Ratne–Kamin-Kashyrsk Area. Scale 1:100,000. Compiled by I.V. Repin with the direct participation of N.V. Nesterovych (Batsevych); б) Map of the thicknesses of pyroclastic formations of the Babynska suite within the limits of the Ratne–Kamin-Kashyrsk Area. Scale 1:100,000. Compiled by I.V. Repin with the direct participation of N.V. Nesterovych (Batsevych)

Останнє на сході площі, у східній частині Волинсько-Поліського прогину, поступово переорієнтовується у субмеридіональне і далі на схід та північ у межах західної частини прогину поступово втрачає свої чіткі контури.

Товщина світи в межах досліджуваної території досягає 170 м.

Петрографічні дослідження. Для отримання чіткої картини в петрографічному плані було детально макро- і мікроскопічно вивчено від підшви до покрівлі розріз св. 4558. При макроскопічному вивченні керн св. 4558 (Нестерович, 2014; Бацевич та ін., 2023) встановлено, що в бабинській світі кілька разів на різних глибинах трапляється прошарок псефітових туфів. Між цими псефітовими прошарками розмірність уламків у туфах зменшується до псамітової та алевритової. Все це дає підставу для виділення у розрізі туфів бабинської світи низки ритмів, кожен з яких розпочинається з прошарку псефітових туфів і завершується їхньою дрібноуламковою відміною. Так, якщо аналізувати розріз від підшви до покрівлі, то можна виділити кілька ритмів, які розташовані на таких глибинних інтервалах: I ритм – 236–225 м (товщина 11 м); II ритм – 225–217 м (товщина 8 м); III ритм (найповніше наповнений) – 217–208,5 м (товщина 8,5 м); IV ритм – 208,5–202 м (товщина 6,5 м) (рис. 3).

За агрегатним станом туфи літо-, вітро- та вітро-літокластичні (рис. 4, а–е). Забарвлення туфів різне: буре (червонувато-буре), зелене з переходами до сіро-зеленого. Зміна забарвлення (як правило, це поступові переходи) утворює свою шаруватість, яка не корелюється з шаруватістю, зумовленою розмірністю уламків. Характерною ознакою туфів є низький вміст у них акцесорних мінералів, представлених поодинокими зернами циркону, апатиту, рутилу і бариту. Цемент – базального і порового типу, найчастіше вторинні глинисті мінерали – монтморилоніт, хлорит та ін., а також анальцим та інші цеоліти. Інколи у складі цементу є халцедон.

Мікроскопічні дослідження показали, що у кожному із виділених ритмів бабинської світи присутні алевритові, псамітові, псефітові і змішані (псаміто-псефітові, псефіто-псамітові, алеврито-псамітові, псаміто-алевритові, пеліто-алевритові) відміни. Серед встановленого розмаїття відмін переважають псамітові (з домішкою псефітового матеріалу) та змішані, зокрема алеврито-псамітові туфи, а алевритові і псефітові – підпорядковуються.

Найповнішу картину складу туфових утворень бабинської світи відображає III ритм товщиною 8,5 м (217–208,5 м). Його внутрішнє наповнення характеризується присутністю всіх виділених

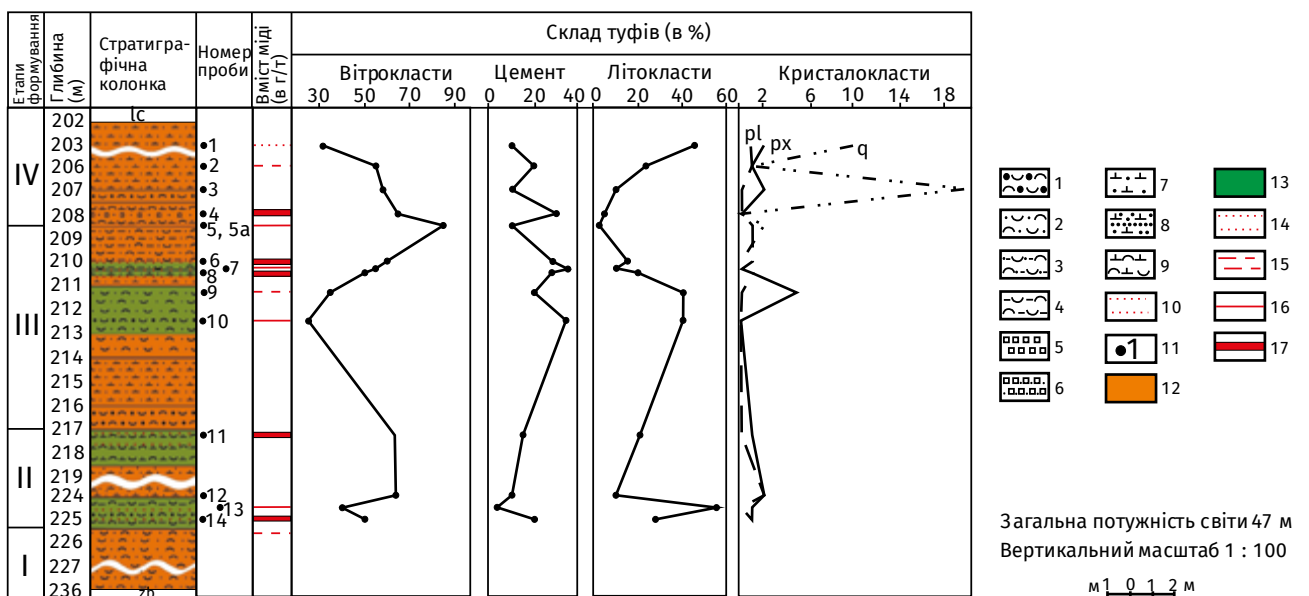


Рис. 3. Структурно-текстурні і речовинні особливості туфів бабинської світи за розрізом св. 4558. Відміни туфів (1–9): 1 – псефітові, 2 – псамітові, 3 – алевритові, 4 – пелітові, 5 – псаміто-псефітові, 6 – псефіто-псамітові, 7 – алеврито-псамітові, 8 – псаміто-алевритові, 9 – алеврито-пелітові, 10 – вкраплення міді; 11 – точка відбору проби (1 – номер зразка); забарвлення туфів (12–13): 12 – буре, 13 – зелене; вміст міді (в г/т) (14–17): 14 – менше 120, 15 – 120–500, 16 – понад 500, 17 – понад 1000

Fig. 3. Structural, textural and material features of the Babyno suite tuffs according to the section of well 4558. Legend: tuffs (1–9): 1 – psephytic, 2 – psammitic, 3 – siltstone, 4 – pelitic, 5 – psamito-psephytic, 6 – psephyto-psamitic, 7 – silt-psamitic, 8 – psamito-silt, 9 – silt-pelitic; 10 – inclusion of copper; 11 – sampling point (1 – sample number); color of tuffs (12–13): 12 – brown, 13 – green; copper content (in g/t) (14–17): 14 – less than 120, 15 – 120–500, 16 – more than 500, 17 – more than 1000

відмін, включно і з перехідними, послідовність нашарування туфів в яких така (знизу вверху): псефітові – алеврито-псамітові – псамітові – алевритові. Неповним ритмом слід вважати перший (236–225 м), складений лише псамітовою відміною.

Вміст міді коливається від 70 (в IV ритмі) до 4800 г/т (в I ритмі). Варто зазначити, що туфи сіро-зеленого кольору збагачені більшою мірою самородною міддю порівняно з бурими туфами.

Туфи бабинської світи по покрівлі перекриваються базальтами лучичівської світи. Водночас особливості складу туфів, форма уламків, відсутність чітких ознак обкатаності, дуже обмежена присутність ксеногеногенних компонентів, особливо у підшві світи та у складі окремих

ритмів, відсутність серед цементувальної маси чітких ознак осадового походження, наявність фрагментів вітрокластичних утворень з явними ознаками спікання, чітка приуроченість мідної мінералізації до тих інтервалів розрізу, які представлені грубоуламковими компонентами – все це дає підстави вважати товщу туфів у розрізі автохтонною, тобто такою, що не зазнала переміщень.

Крім цього, різний колір уламків, особливо це стосується базальтів сірого, червоно-бурого і чорного кольорів, може свідчити, що частина з них потрапила до туфів при руйнуванні прижерлових частин консолідованої частини вулкана, інша частина – фрагменти викинутої лави.

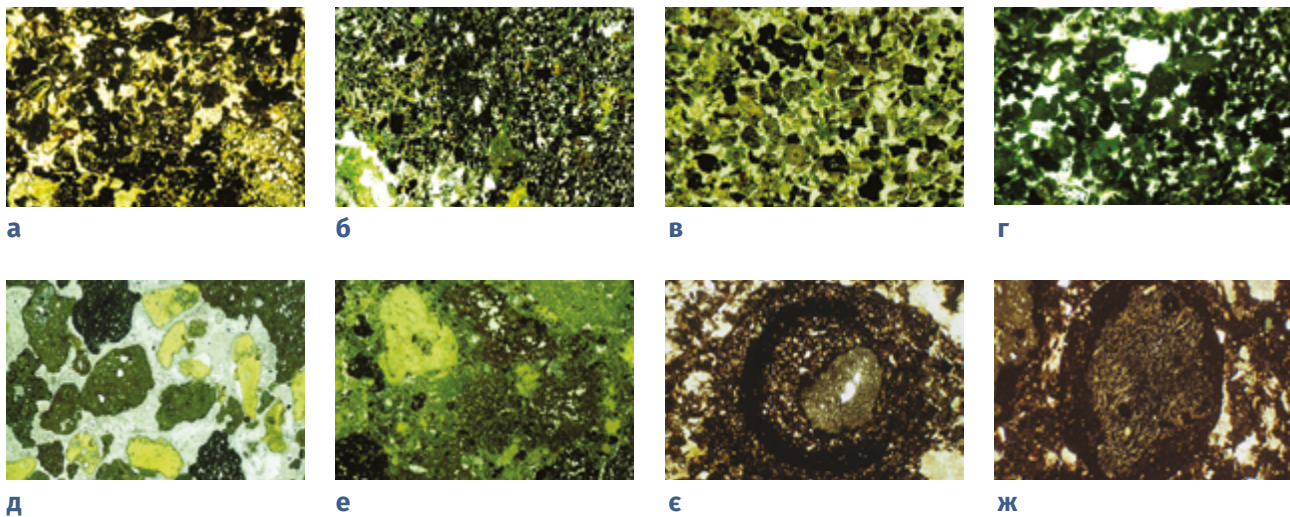


Рис. 4. а) Туф літокластичний псамітовий з поодинокими псефітовими порфіровими пемзоподібними літоїдними фрагментами палагонізованого скла та численними уламками базальтів. Шліф – 4558/1. Глибина – 203,0 м. Відстань від покрівлі туфового утворення – 14,0 м. Ширина поля зору – 4 мм. Нік. ||; б) Границя псамо-аледритової та псефопсамітової відмін туфів, в яких переважають зашлаковані уламки базальтів та значно менше зміненого вулканічного скла. Шліф – 4558/3. Глибина – 207,0 м. Відстань від покрівлі туфового утворення – 18,0 м. Ширина поля зору – 7 мм. Нік. ||; в) Літо-вітрокластичний туф з хлорит-анальцимовим цементом сортової псамітової. Шліф – 4558/6. Глибина – 210,0 м. Відстань від покрівлі туфового утворення – 21,0 м. Ширина поля зору – 4 мм. Нік. ||; г) Пемзоподібна туфова відміна, складена з частково спечених фрагментів палагонізованого скла. Структура псамітова. Шліф – 4558/11. Глибина – 217,3 м. Відстань від покрівлі туфового утворення – 28,3 м. Ширина поля зору – 7 мм. Нік. ||; д) Вітро-літокластичний туф псамітовий з анальцимовим цементом. Шліф – 4558/10. Глибина – 212,5 м. Відстань від покрівлі туфового утворення – 23,5 м. Ширина поля зору – 7 мм. Нік. ||; е) Літокластичний туф псефітовий. Шліф – 4558/13. Глибина – 224,5 м. Відстань від покрівлі туфового утворення – 35,5 м. Ширина поля зору – 7 мм. Нік. ||; ж) Ядро пізоліту, складене ошлакованим базальтом, оболонка – трьома шарами попелового матеріалу різної розмірності. Бабинська світа. Св. 5871. Глибина – 491,9 м. Зр. 5871/1. Ширина поля зору – 4 мм. Нік. II; ж) Ядро пізоліту, складене гіалопелітовим базальтом. Бабинська світа. Св. 5871. Глибина – 491,9 м. Зр. 5871/1. Ширина поля зору – 2 мм. Нік. II

Fig. 4. а) Lithoclastic psammite tuff with isolated psephytic porphyry pumice-like lithoid fragments of palagonitized glass and numerous fragments of basalts. Grit – 4558/1. Depth – 203.0 m. Distance from the roof of the tuff formation – 14.0 m. The width of the field of view is 4 mm. Nikol II; б) The boundary of the psamo-siltstone and psephopsamitic tuffs, which are dominated by slag fragments of basalts and much less altered volcanic glass. Grit – 4558/3. Depth – 207.0 m. Distance from the roof of the tuff formation – 18.0 m. The width of the field of view is 7 mm. Nikol II; в) Lithovitroclastic tuff with chlorite-analcime cement is graded psammite. Grit – 4558/6. Depth – 210.0 m. Distance from the roof of the tuff formation – 21.0 m. The width of the field of view is 4 mm. Nikol II; г) A pumice-like tuff formation composed of partially sintered fragments of palagonitized glass. The structure is psammitic. Grit – 4558/11. Depth – 217.3 m. Distance from the roof of the tuff formation – 28.3 m. The width of the field of view is 7 mm. Nikol II; д) Vitrolithoclastic psammite tuff with analcime cement. Grit – 4558/10. Depth – 212.5 m. Distance from the roof of the tuff formation – 23.5 m. The width of the field of view is 7 mm. Nikol II; е) Lithoclastic psephytic tuff. Grit – 4558/13. Depth – 224.5 m. Distance from the roof of the tuff formation – 35.5 m. The width of the field of view is 7 mm. Nikol II; ж) The pisolite core is composed of slag basalt, the shell is composed by three layers of ash material of different dimensions. Babynska suite. Well 5871. Depth – 491.9 m. Sample 5871/1. The width of the field of view is 4 mm. Nikol II; ж) The pisolite core is composed of hyalopelite basalt. Babynska suite. Well 5871. Depth – 491.9 m. Sample 5871/1. The width of the field of view is 2 mm. Nikol II

Для бабинської світи характерні знахідки пізолітових туфів (Нестерович и др., 2014), які лише згадувалися у літературі (наприклад (Мельничук, 2008)), але до нас їх практично не вивчали.

Виявлено багат шарову концентрично-зональну будову пізолітових туфів (рис. 4, є). Ядро деяких «градин» складене уламками базальтів (рис. 4, ж) з афіровою, гіалопелітовою або інттерсертальною структурою. У деяких «градинах» уламки базальтів у центральній частині відсутні, натомість ядро гомогенне, склад якого відповідає попеловому туфу з реліктовою вітрокластичною структурою. У тих випадках, коли ядро складене уламками базальту, воно займає більшу частину поперечного перетину «градини», а там, де ядро складене попеловим туфом, пемзою, – половину або меншу половину площі перетину «градини».

Ядро оточене обляміркою, яка може складатися з кількох шарів товщиною до 0,5 мм. Перехід від ядра до облямірки різкий. Шарувата будова чітко простежується. Зазначимо, що розмір уламків у шарах облямірки зменшується від краю ядра у напрямку до зовнішнього шару облямірки.

Матрикс за своїм складом відповідає туфам. Туф в основному аповітрокластичний з невеликою домішкою кристалокластів. Останні добре збереглися і представлені псамітовими (до 0,7 мм) уламками кристалів плагіоклазу і піроксену. Вітрокласти сильно розкладені і заміщені вторинними мінералами: халцедоном, кварцем, хлоритами. Пізоліти цементуються псамо-алевритовим туфовим матеріалом. Розмір пізолітів змінюється від 4,8 до 6,2 мм. Форма ізометрична або близька до еліпсоїдальної з максимальним видовженням у шліфах 4,1:4,8.

Наявність в товщі порід відкладів цього генетичного типу свідчить про вулканічний вибух у субаеральних умовах і вказує на наземну (або ж плитководну морську) ситуацію седиментації (Ботвинкина, 1974), зазвичай поблизу центрів виверження. Позаяк в досліджених нами відкладах трапляються роздрібнені кульки пізолітів і не спостерігається їхня певна орієнтація у породі, рідше трапляються відсортовані «градини» за розміром, які орієнтовані паралельно шаруватості, практично без роздрібнених кульок, то можна говорити про їхнє субаквальне походження.

У багатьох провінціях світу в аналогічних відкладах трапових формацій також виявлені не лише туфи, але й лапілієві туфи і туфобрекції (Ross et al., 2005), що свідчить про загальну близькість до центрів виверження.

Мінералогічні дослідження. З огляду на те, що більшість мінералів у бабинських туфах знаходяться у тонкодисперсному стані, нами для вивчення їхнього мінерального складу було застосовано рентгенофазовий аналіз.

Так, у сірувато-зелених туфах із св. 4510/9 на глибині 392,6 м виявили цеоліти (анальцим із характерними піками 0,56; 0,343; 0,293 нм; мезоліт – 0,64; 0,343; 0,253 нм; ломонтит – 0,73; 0,323; 0,30 нм); пірит – 0,305; 0,278; 0,1625; 0,1475 нм; монтморилоніт – 1,5; 0,333; 0,293; 0,256; 0,251 нм (рис. 5, а).

У туфах червоно-бурого кольору із св. 4510/5 на глибині 319,6 м визначили цеоліти (анальцим, з тими ж характерними піками, що і в сірувато-зелених туфах св. 4510/9, ломонтит); гетит – 0,419; 0,354; 0,272 нм; монтморилоніт – 1,4; 0,333; 0,329; 0,292 нм і залізисто-магнезійний хлорит – 1,4–1,47; 0,69–0,73; 0,46–0,476; 0,361 нм та ін. Монтморилоніт і хлорити трапляються в більшій кількості у сірувато-зелених туфах, чим пояснюється їхнє зелене забарвлення. А от колір червоних туфів пояснюється високим вмістом гетиту-гідрогетиту, які утворилися при окисненні вулканічного скла і піриту (рис. 5, б).

Дрібно-пізолітовий туф із св. 4510/15 на глибині 401,9 м за мінеральним складом подібний до червоно-бурих туфів: цеоліти (анальцим, ломонтит, мезоліт); гетит, монтморилоніт (рис. 5, в).

В результаті виконаних рентгенометричних досліджень пелітової фракції червоно-бурих і сірувато-зелених туфів, за (Семущин, 1986), вдалося визначити її мінеральний склад: глинисті мінерали (смектит, хлорити, гідрослюда), анальцим, ломонтит, мезоліт (вперше виявлено), пірит, гематит, гетит, кварц, моноклінний піроксен, плагіоклаз, калієвий польовий шпат, іліт.

Аналіз отриманих результатів дав можливість з'ясувати, що сірувато-зелені туфи містять меншу кількість гетиту, гематиту, але більше хлориту, монтморилоніту, ломонтиту й анальциму, ніж червоно-бурі. Саме наявністю гетиту, гематиту зумовлено забарвлення червоно-бурих туфів.

У літературі також опубліковані дані про різнозабарвленість туфового матеріалу. У статті (Emetz et al., 2004) згадується про туфи різного забарвлення, але їхніх детальних досліджень не було проведено. У праці (Środof et al., 2019) також вказується на наявність туфів зеленого і бурого забарвлення, причому туфи зеленого кольору відрізняються від коричневих лише меншою кількістю гематиту та більшою кількістю урану,

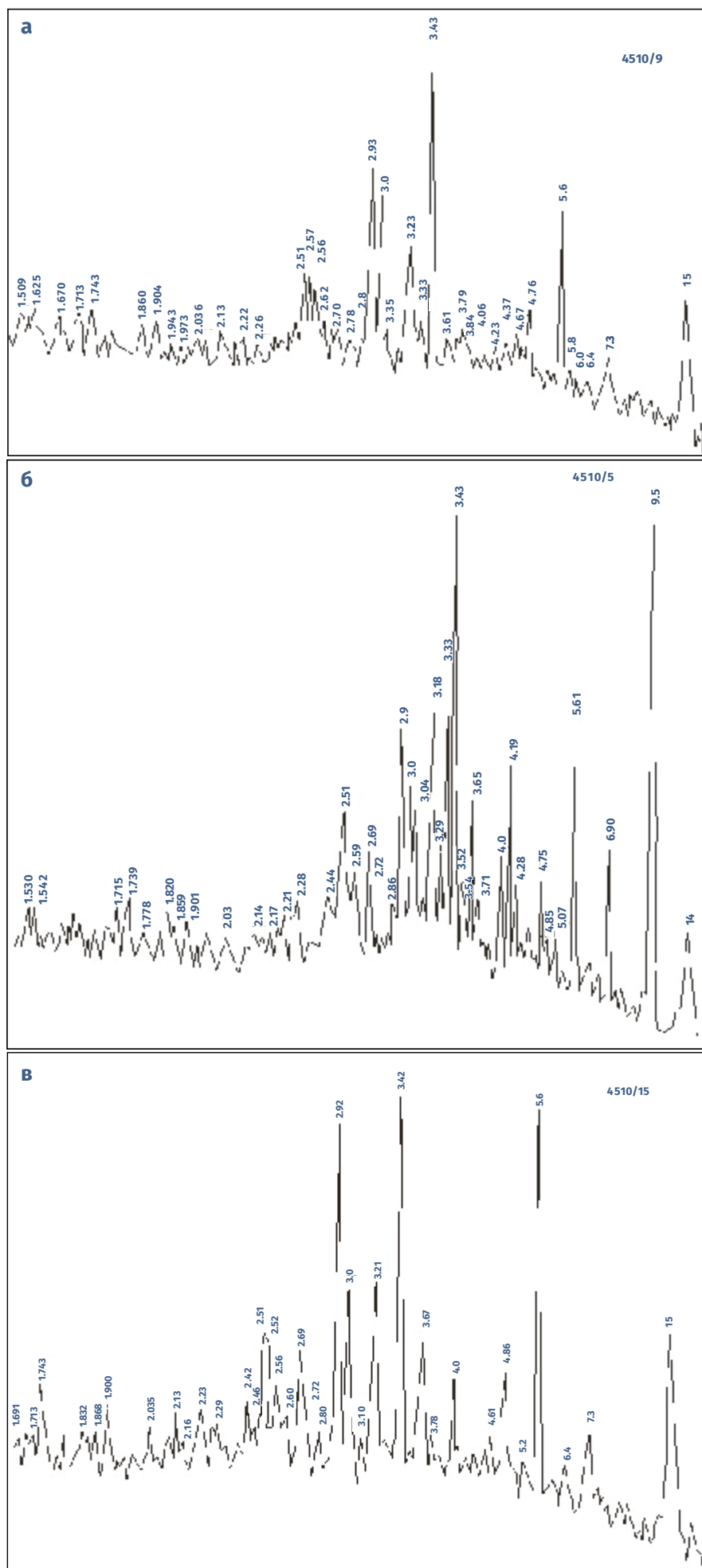


Рис. 5. Рентгенограма: а) сірувато-зелених туфів, б) червоно-бурих туфів, в) пізолітових туфів

Fig. 5. X-ray of: а) grayish-green tuffs, б) red-brown tuffs, в) piroclastic pisolithic tuffs

що відповідає більшому відновленню місцевого середовища (винесення заліза, збагачення ураном), але не дозволяє дійти висновку, чи це гідротермальна зміна, чи це результат пізнішого процесу. У межах трапових провінцій світу, зокрема у межах трапової формації Декану (Індія) (Kale et al., 2020), згадується про перешарування базальтів із пірокластичним матеріалом червоного, зеленого, сірого кольорів. У монографії (Мельничук, 2022) вказується, що за хімічним складом зеленоколірні туфи значно ближчі до толеїтових базальтів, ніж червоноколірні. Це пояснюється їхніми порівняно слабшими специфічними гідротермально-метасоматичними

перетвореннями, вираженими у розвитку по вулканічному склу, уламках і в цементі хлоритів і смектитів групи сапоніту.

Отже, отримані дані доповнюють оригінальні літературні матеріали мінералогічного дослідження цеоліт-смектитових туфів Волині (Шумлянський та ін., 1991; Мельничук, 2008, 2022 та ін.).

Петрохімічні дослідження. На основі представницьких хімічних аналізів туфів бабинської світи (св. 4558) проведено петрохімічні перерахунки за (Ефремова, Стафеев, 1985) (табл. 1) (рис. 6, а). Ці оригінальні дані також зображено на класифікаційній діаграмі AFM ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{MgO}$) (рис. 6, б).

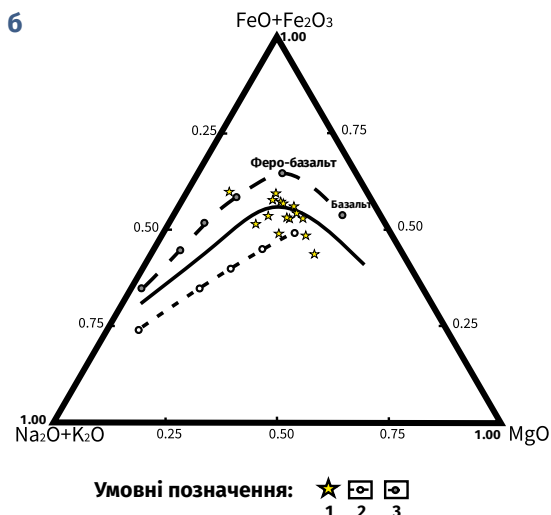
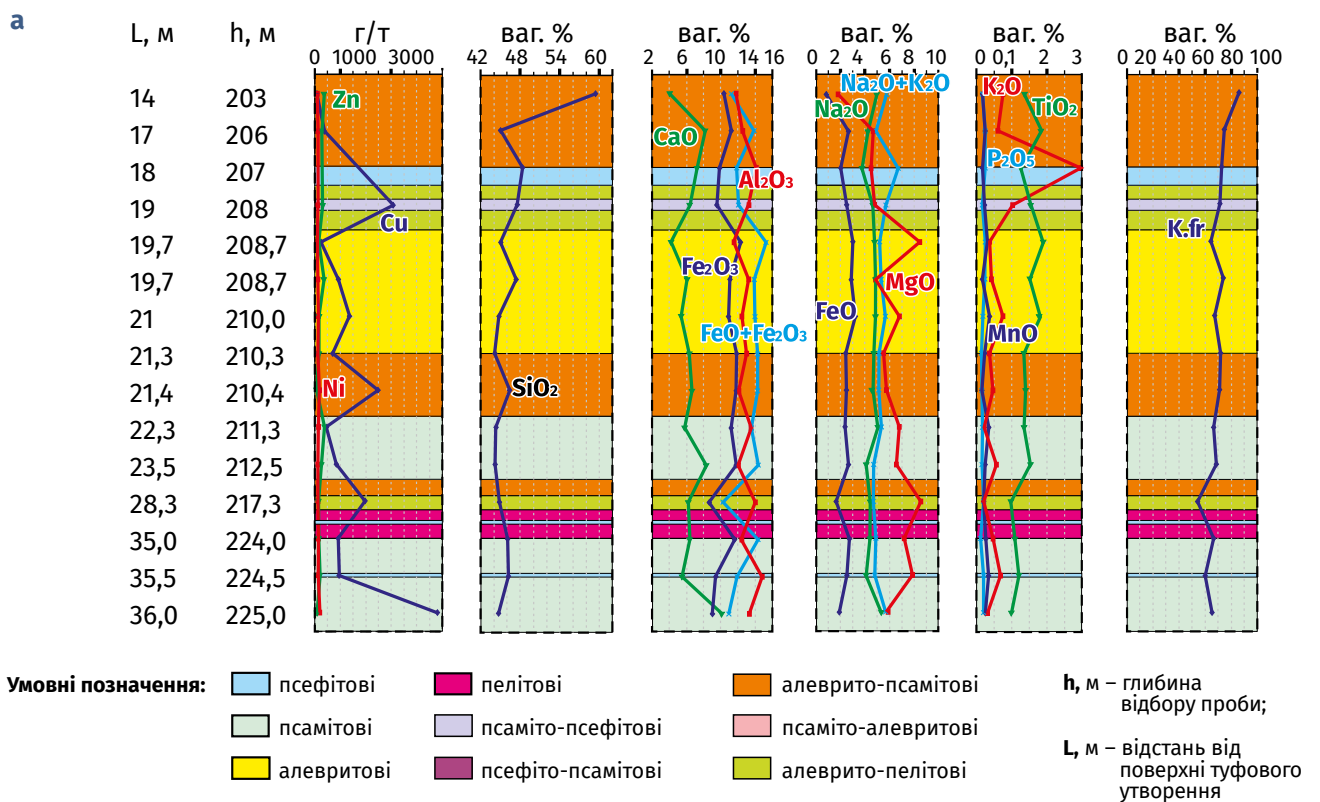


Рис. 6. а) Варіації вмістів з глибиною міді, нікелю, цинку, головних петrogenних компонентів, петрохімічних параметрів туфів бабинської світи за розрізом св. 4558; **б)** Розташування туфів бабинської світи трапової формації Західної Волині (св. 4558) на класифікаційній діаграмі AFM ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{MgO}$), за (Wager, Deer, 1939). Умовні позначення: 1 – туфи бабинської світи, 2 – тренд порід вапняково-лужної серії, 3 – тренд порід толеїтової серії

Fig. 6. a) Variations of contents with depth of copper, zinc, main petrogenic components, petrochemical parameters of Babynska suite tuffs according to the section of well 4558; **б)** The location of Babynska suite tuffs of continental flood basalts of the Western Volyn (well 4558) on the AFM classification diagram ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{MgO}$), за (Wager, Deer, 1939). Conventional designations: 1 – Babynska suite tuffs, 2 – trend of rocks of the calcareous-alkaline series, 3 – trend of rocks of the tholeiitic series

Таблиця 1. Хімічний склад та петрохімічні параметри туфів бабинської світи породно-рудних комплексів трапової формації Західної Волині (св. 4558 (розріз максимальної товщини – 22 м))

Table 1. Chemical composition and petrochemical parameters of tuffs of the Babynska suite tuffs of rock-ore complexes of the continental flood basalts of Western Volyn (well 4558 (section of maximum power – 22 m))

№ проби	1	2	3	4	5	5а	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Глибина відбору, м	203	206	207	208	208,7	208,7	210	210,3	210,4	211,3	212,5	217,3	224	224,5	225	
Вміст оксидів, мас.%	SiO ₂	59,39	45,03	48,31	47,56	45	47,38	44,76	44,23	46,4	44,4	44,19	44,88	46,15	46,19	44,82
	TiO ₂	1,37	1,85	1,26	1,54	1,91	1,53	1,8	1,35	1,41	1,36	1,54	1	1,11	1,22	0,99
	Al ₂ O ₃	11,8	12,52	14,15	13,24	11,5	13,24	12,48	13	12,09	13,49	12,02	14,01	12,4	14,8	13,3
	Fe ₂ O ₃	10,35	11,23	9,88	9,56	12,3	11,06	10,86	11,83	11,79	11,21	11,75	8,62	11,61	9,41	9,06
	FeO	0,84	2,66	1,97	2,5	3	2,84	3,19	2,43	2,46	2,35	2,65	1,6	2,72	2,53	1,91
	CaO	4,05	8,17	7,25	6,43	4,22	6,11	5,39	6,35	6,64	5,82	8,34	6,22	6,39	5,53	10,17
	MgO	1,81	4,68	4,5	4,82	8,5	4,89	6,79	5,55	5,77	6,78	6,6	8,59	7,19	7,9	5,82
	MnO	0,17	0,26	0,18	0,23	0,3	0,17	0,38	0,24	0,17	0,35	0,25	0,21	0,27	0,35	0,24
	K ₂ O	0,76	0,61	2,97	1,02	0,37	0,42	0,75	0,38	0,48	0,24	0,57	0,2	0,48	0,68	0,3
	Na ₂ O	5	4,27	3,76	4,69	4,82	4,91	4,91	4,75	4,61	5,08	4,13	4,47	4,43	4,12	5,36
	P ₂ O ₅	0,17	0,25	0,26	0,17	0,25	0,23	0,19	0,14	0,15	0,17	0,16	0,2	0,12	0,2	0,21
	H ₂ O	1,06	2,58	1,65	2,7	2,78	2,39	3,63	2,87	2,13	2,59	2,81	4,89	2,97	2,44	2,68
	впн	3,53	5,8	4,05	5,5	4,84	4,69	4,59	6,49	6,36	6,25	5,22	5,18	4,18	4,79	4,72
	Сума	100,3	99,91	100,19	99,96	99,79	99,86	99,72	99,61	100,46	100,09	100,23	100,07	100,02	100,16	99,58
	Cu, г/т	70	370	-	3070	230	930	1360	690	2490	460	840	1960	920	950	4800
Ni, г/т	90	110	-	110	100	120	130	110	170	130	120	120	130	140	200	
Zn, г/т	380	300	-	310	150	360	180	180	80	370	250	150	150	190	100	
all	0,91	0,67	0,87	0,78	0,48	0,70	0,60	0,66	0,60	0,66	0,57	0,74	0,58	0,75	0,79	
Na ₂ O/K ₂ O	6,58	7,00	1,27	4,60	13,03	11,69	6,55	12,50	9,60	21,17	7,25	22,35	9,23	6,06	17,87	
f	14,37	20,42	17,61	18,42	25,71	20,32	22,64	21,16	21,43	21,70	22,54	19,81	22,63	21,06	17,78	
К.ф.	86,08	74,80	72,48	71,45	64,29	73,98	67,42	71,98	71,18	66,67	68,57	54,33	66,59	60,18	65,34	
Fm	39,32	66,18	54,30	55,59	80,22	63,00	70,82	71,54	68,56	71,06	74,11	61,12	71,79	63,33	57,68	

За коефіцієнтом глиноземистості ($a' = \text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MgO})$), який добре корелює з відотною кількістю кольорових і лейкократових мінералів у гірських породах, усі досліджувані проби туфової товщі належать до двох відмін: низькоглиноземисті ($a' < 0,75$) та помірноглиноземисті ($a' = 0,75-1$).

За значеннями петрохімічного показника на основі вмісту лугів, а саме $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$, досліджувані породи можна об'єднати у три групи: 1) $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} > 4$ мас. % – домінувальна група туфів бабинської світи натрієвої серії; 2) $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 1-4$ мас. % – калієво-натрієва серія (в це поле потрапляє один зразок з глибини відбору 207 м).

За коефіцієнтом фемічності ($f' = \text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO} + \text{TiO}_2$), що відображає в породах загальну кількість фемічних оксидів, досліджувана товща в основному меланократова ($f' = 21-23$) та мезократова ($f' = 16-21$), лише одна проба потрапляє у поле лейкократових відмін ($f' < 16$) – глибина відбору 203 м.

Коефіцієнт фракціонування (залізистості) ($K.f. = (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}) \times 100 / (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MgO})$, мас. %) складає 54,33–86,08 мас. %.

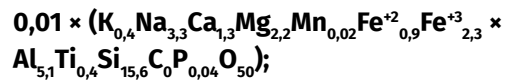
Для більшості проб трапової формації загальна магнезіальність ($fm = 100 \times (\text{MgO} + \text{Fe} + 2\text{Fe}_2\text{O}_3) / \text{SiO}_2$, мас. %) дорівнює $fm = 39,32-80,22$ мас. %.

Показово, що відповідно до діаграми AFM ($A = (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$, $F = (\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3)$, $M = \text{MgO}$), за (Wager, Deer, 1939), окреслилася незначна тенденція еволюції вулканізму в напрямку від вапняково-лужних порід до толеїтових (див. рис. 6, б).

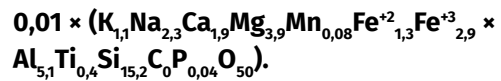
Петрохімічні перерахунки порід виконані за методом А.А. Маракушева (метод протонного еквівалента ΔZ), який призначений для зіставлення мінералів і гірських порід на основі розрахункових величин спорідненості до протону і запропонований як метод петрохімічних перерахунків на термодинамічній основі (Степанов та ін., 2013). При цьому бралися до уваги туфи червоно-бурого і сірувато-зеленого кольорів з різних глибин (за розрізом св. 4492). Виявилося, що енергетичний пай катіонів у породах із глибиною збільшується, однак він відрізняється для червоно-бурих і сірувато-зелених туфів: для перших перебуває в межах 800 кДж, для других – 1250 кДж.

За даними петрохімічних перерахунків розраховували еквівалентні формули порід (наведено середнє значення) для:

1. червоно-бурих туфів –



2. сірувато-зелених туфів –



Привівши величину ΔZ гірської породи до одного протону, з'ясували, що сірувато-зелені туфи більш основні. Проаналізувавши еквівалентні формули порід, виявили, що у сірувато-зелених туфах зростає кількість Fe^{+2} . Добре також видно, що сірувато-зелені туфи містять приблизно вдвічі більшу кількість магнію. В туфах магній присутній у хлоритах, чим і зумовлене забарвлення сірувато-зелених туфів. Сірувато-зелені туфи насичені більшою мірою калієм. Вміст інших елементів істотно не змінюється у різних за забарвленням туфах. Водночас наголосимо, що концентрації самородної міді істотно зростають у туфах сірувато-зеленого кольору порівняно із такими туфів червоно-бурого кольору, до прикладу, за розрізом св. 4558 досягаючи 4800 г/т (глибина відбору 225 м) і 2490 г/т (глибина відбору 210,4 м) (див. рис. 3).

Генетичне значення пірокластичних відкладів.

Пірокластичні відклади серед вулканічних утворень завжди відіграють роль своєрідних реперів, які символізують певні етапи формування та становлення вулканічних товщ і формацій загалом. Аналогічне значення мають ці утворення і у складі трапової формації Західної Волині. Особливий інтерес становлять пізолітові туфи, які були виявлені в межах бабинської світи і мають вагоме генетичне значення (Нестерович и др., 2014; Нестерович, 2014). Їхні знахідки надають важливу інформацію для палеовулканогенних і палеогеографічних реконструкцій (Котова, 1966). Зокрема, наявність туфів вказує на нагромадження автохтонної тефри зі своєрідною текстурою. Розташовані вони в межах проміжної або віддаленої зони виверження. Присутність відкладів цього генетичного типу свідчить про вулканічний вибух у субаеральних умовах і вказує на наземну (або ж плитководну морську) ситуацію седиментації (Ботвинкина, 1974), зазвичай поблизу центрів виверження.

Прикладне значення. Перспективні сфери використання цеоліт-сметитових туфів Західної Волині такі (Мельничук, 2008, 2022): в сільському господарстві – як міндобриво, стабілізатор рослинного живлення, для зберігання насіння; в будівельній індустрії – виготовлення цегли,

черепиці, керамічної плитки, цементу, керамзиту, як пігменти для фарб та кольорових бетонів; у природоохоронних заходах – меліорація радіоактивно-забруднених ґрунтів та очистка стічних вод від NH_4 ; як в'язучий матеріал – для окатування руд і добрив. Корисні копалини у трапах просторово і генетично тісно пов'язані, тому доцільність їхнього комплексного видобутку і переробки не викликає сумнівів. До найперспективніших для освоєння із розвіданих родовищ можуть бути віднесені родовища Рафалівського поля, у породних комплексах якого вдало поєднуються базальти, цеоліт-сметитові туфи, самородна мідь та супутні метали, виробні камені. Концентрації розсіяно-вкрапленої міді в базальтах і туфах рідко перевищують 0,3 %. Проте з огляду на стратиформний характер, значне поширення по площі, наявність потужних рудовмісних інтервалів (до 7–8 м), даний тип зруденіння слід вважати перспективним на виявлення покладів руд із відносно низькими вмістами міді, але зі значними її ресурсами і запасами.

Висновки

1. За даними комплексних прецизійних досліджень схарактеризовано особливості просторового поширення і мінерального складу, петрографічних і петрохімічних показників, генетичного і практичного значення туфів бабинської ефузивно-пірокластичної світи (V_{bb}) трапової формації Західної Волині у зв'язку з міденосністю.
2. Проаналізовано товщини і гіпсометрію рельєфу палеоповерхні за розрізами численних свердловин, які розкрили утворення бабинської світи у межах її найзначнішого поширення, та з'ясовано важливі елементи її будови по вертикалі і латералі (по площі), реальну картину яких відображають побудовані карти товщин і рельєфу палеоповерхні пірокластичних утворень світи, зокрема на Ратненсько–Камінь-Каширській площі. Розташування різних за формою ділянок зростання або досягнення максимальної товщини відкладів бабинської світи утворює доволі чітку картину, безперечно зумовлену тектонічною історією. З одного боку, це кільцеве розташування зазначених ділянок навколо підняття, що розташоване в центральній частині площі досліджень, з іншого – фрагменти ланцюжкового поширення, яке має добре проявлене просторове розташування.
3. В результаті петрографічного вивчення розрізу відкладів бабинської світи доведено їх утворення в режимі гравітаційного осадження пірокластичного матеріалу з нагромадженням туфових відкладів на стадії неповного застигання вулканічного матеріалу і формування грубої, неритмічної шаруватості, без чітких ознак перевідкладення, тобто вулканоміктового походження. Про це свідчать також ознаки спеченості, відсутність обкатаності, поступові переходи між туфами різної розмірності, просторовий розподіл туфових утворень за розмірністю уламків та їхнім співвідношенням у розрізі. Ці міркування підтверджуються опосередкованими фактами, такими як рельєф поверхонь, на яких залягають туфи відповідних стратиграфічних підрозділів, а також не зафіксованими ознаками інтенсивного розмиву, різкими формами тощо. Знахідки пізолітових туфів свідчать про близькість до центрів виверження в субаквальних-субаеральних умовах.
4. Мінеральний склад пелітової фракції червоно-бурих і сірувато-зелених туфів такий: глинисті мінерали (сметит, хлорити, гідрослюда), анальцим, ломонтит, мезоліт (вперше виявлено), пірит, гематит, гетит, кварц, моноклінний піроксен, плагіоклаз, калієвий польовий шпат, іліт. Акцентовано увагу на відмінностях мінерального складу різнозбарвлених туфів. Зокрема, аналіз отриманих результатів дав можливість з'ясувати, що сірувато-зелені туфи містять більше хлориту, монтморилоніту, ломонтиту і анальциму, але менше гетиту-гідрогетиту і гематиту, ніж червоно-бурі. Водночас саме наявністю гетиту-гідрогетиту і гематиту, утворених при окисненні вулканічного скла і піриту, зумовлено забарвлення червоно-бурих туфів. За даними петрохімічних перерахунків виявлено кореляцію сірувато-зелених туфів і самородної міді та різницю енергетичного паю катіонів для червоно-бурих і сірувато-зелених туфів – відповідно 800 і 1250 кДж. Зазначено, що сірувато-зелені туфи містять більшу кількість Fe^{2+} , калію, приблизно удвічі більшу кількість магнію. В туфах магній присутній у хлоритах, чим і зумовлене забарвлення сірувато-зелених туфів. Туфи червоного кольору містять більшу кількість гематиту.
5. Отримані результати в генетичному плані надають важливу інформацію для палеовулканогенних і палеогеографічних реконструкцій,

в практичному – сприяють підвищенню оцінки перспектив міденосності вулканогенних товщ трапової формації та можуть бути запропоновані для використання виробничими організаціями геологічного профілю. У підсумку наголошуємо на нагальній потребі подальшого детального вивчення самородної міді, пов'язаної з основними ефузивами Західної Волині, і комплексу супровідних мідь мінералів та особливостей процесу форму-

вання мідного зруденіння. Вона визначається тим, що в низці регіонів подібні родовища мають велике практичне значення (як приклад, загальновідома трапова формація на п-ові Ківіно (Мічіган, США), а також перспективні трапи Декану (Індія), на які звернули увагу лише нещодавно (Alexander & Thomas, 2011).

Насамкінець висловлюємо велику вдячність Я.О. Косовському за наданий кам'яний матеріал.

За даними комплексних прецизійних досліджень виявлено просторове поширення і мінеральний склад, з'ясовано петрографічні і петрохімічні особливості та генетичне і практичне значення туфів бабинської ефузивно-пірокластичної світи трапової формації Західної Волині у зв'язку з міденосністю. Проаналізовано товщини і гіпсометрію рельєфу палеоповітряної пірокластичних утворень бабинської світи та з'ясовано важливі елементи її будови по вертикалі і латералі (по площі), реальну картину яких відображають побудовані карти товщин і рельєфу палеоповітряної пірокластичних утворень світи, зокрема на Ратненсько-Камінь-Каширській площі. Доведено утворення туфів бабинської світи в режимі гравітаційного осадження пірокластичного матеріалу з нагромадженням туфових відкладів на стадії неповного застигання вулканічного матеріалу і формування грубої, неритмічної шаруватості, без чітких ознак перевідкладення, тобто вулканоміктового походження. Виявлено відмінності мінерального складу і петрохімії туфів різного забарвлення: сірувато-зелених і червоно-бурих. Акцентовано увагу на збагаченості самородною міддю туфів сірувато-зеленого забарвлення і запропоновано варіанти можливого пояснення цієї кореляції. Отримані результати в генетичному плані надають важливу інформацію для палеовулканогенних і палеогеографічних реконструкцій, в практичному – сприяють підвищенню оцінки перспектив міденосності вулканогенних товщ трапової формації та можуть бути запропоновані для використання виробничими організаціями геологічного профілю.

Список літератури

- Ботвинкина Л.Н. Генетические типы отложений областей активного вулканизма. Москва: Наука, 1974. С. 108–116. (Тр. ГИН АН СССР; Вып. 263).
- Бацевич Н.В., Наумко І.М., Федоришин Ю.І. Петрографічна характеристика пірокластичного матеріалу у межах бабинської світи і зорянської товщі трапової формації Західної Волині. *Від Мінералогії і Геогнозії до Геохімії, Петрології, Геології та Геофізики: фундаментальні і прикладні тренди XXI століття*: Зб. пр. Всеукр. конф. (MinGeolIntegration XXI–2023) (Київ, 27–29 верес. 2023 р.). Київ: КНУ ім. Тараса Шевченка, 2023. С.97–100.
- Бацевич Н.В., Наумко І.М., Федоришин Ю.І. Туфи бабинської світи трапової формації Західної Волині: петрографія, петрохімія, генетичне і прикладне значення. *Проблеми прикладних геологічних наук і шляхи їх подолання (до 160-річчя від дня народження В.І. Вернадського)*: Зб. матеріалів Всеукр. конф. (Київ, 19–20 верес. 2023 р.) / НАН України, Ін-т геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка. Київ, 2023. С. 52–57.
- Дриц В.А., Сахаров Б.А. Рентгеноструктурний аналіз смешано-слоєних мінералів. Москва: Наука, 1976. 256 с.
- Ефремова С.В., Стафеев К.Г. Петрохимические методы исследования горных пород. Справочное пособие. Москва: Недра, 1985. 511 с.
- Зиновенко Г.В. Балтийско-Приднестровская зона перикратонных опусканий: Гарецкий Р.Г. (ред.). Минск: Наука и техника, 1986. 215 с.
- Котова Л.Н. Пепловые лапилли из девонской вулканогенно-осадочной серии хребта Тарбагатай. *Литология и полез. ископаемые*. 1966. № 2. С. 58–64.
- Лазаренко Є.К., Матковський О.І., Винар О.М., Шашкіна В.П., Гнатів Г.М. Мінералогія вивержених комплексів Західної Волині. Львів: Вид-во Львів. ун-ту, 1960. 510 с.
- Лазаренко Є.К., Воловник Б.Я. Нові дані про будову вулканогенної товщі волинської серії західної окраїни Руської платформи. *Геол. журн.* 1969. Т. 29, вип. 1 (124). С. 12–22.
- Мельничук В.Г. Товща цеоліт-сметитових туфів у нижньовендських трапах південно-західної частини Східно-Європейської платформи, їх походження та перспективи використання. *Зб. наук. пр. Ін-ту геол. наук НАН України*. 2008. Вип. 1. С. 104–111.
- Мельничук В.Г. Геологія та міденосність нижньовендських комплексів південно-західної частини Східно-європейської платформи: автореф. дис. ... д-ра геол. наук. Київ, 2010. 36 с.
- Мельничук В.Г. Міденосні трапи Волині і суміжних територій Східної Європи. Рівне: НУВГП, 2022. 328 с.
- Мельничук В.Г., Матеюк В.В. Туфи Волино-Поділля як новий вид мінеральних ресурсів. *Проблеми раціонального використання, охорони і відтворення природно-ресурсного потенціалу України*. Чернівці: Рута, 2000. С. 133–134.
- Мельничук В., Мельничук Г. Оновлена стратиграфічна схема неопротерозою Волино-Поділля. *Проблеми геології України*: Зб. наук. пр. за результатами XIII Всеукр. наук. конф. (Львів, 3–5 жовт. 2022 р.). Львів: ЛНУ ім. Івана Франка, 2022. С. 36–45.
- Мідь Волині. *Наук. пр. Ін-ту фундамент. досліджень: Шумлянський В.О. (відп. ред.)*. Київ, 2002. 112 с.
- Михеев В.И. Рентгенометрический определитель минералов. Москва: Госгеолтехиздат, 1957. 862 с.
- Нестерович Н.В. Геохімія флюїдів середовища формування міденосних парагенезів у вулканітах трапової формації зчленування Волинського палеозойського підняття і Волино-Подільської монокліналі: автореф. дис. ... канд. геол. наук (привірюється до доктора філософії). Львів, 2014. 20 с.
- Нестерович Н.В., Косовський Я.А., Наумко І.М., Федоришин Ю.І. Пірокластичні пизоліти трапової формації сєверо-западної Волині (Луковско-Ратновська горстова зона). *Отечественная геология*. 2014. № 1. С. 41–47.
- Приходько В.Л., Косовський Я.А., Іванів І.Н. Перспективи міденосності вулканогенних образований волинської серії Луковско-Ратновської горстової зони. *Геол. журн.* 1993. № 4 (271). С. 138–143.

- Семененко М.П., Савченко М.А., Клушин В.І. Прип'ятський вал (глибинна структура, магматизм та металоносність). Київ: Наукова думка, 1976. 179 с.
- Семущин В.Н. Рентгенографический определитель цеолитов. Новосибирск: Наука, 1986. 128 с.
- Степанов В.Б., Генералова Л.В., Дворжак Т.С. Методичні вказівки з лабораторних занять з курсів «Аналіз петрохімічних даних» і «Геодинамічні реконструкції». Львів, 2013. Ч. 1. 44 с.
- Ткачук Л.Г. (отв. ред.). Пирокластические породы Украины. Киев: Наукова думка, 1977. 156 с.
- Шумлянський В.О., Деревська К.І., Сингаївський Є.Д., Чернишова Н.С. Мідно-цеолітова мінералізація у базальтових туфах венду на західному схилі Українського щита і природа мінералізуючих розчинів. *Доп. АН УРСР*. 1991. № 9. С. 136–139.
- Alexander P.O. & Thomas H. Copper in Deccan Basalts (India): review of the abundance and patterns of distribution. *Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología*. 2011. No. 79–81. (Rosario, 01-07-2011). P 107–112. ISSN 1666-115X.
- Bornhorst T.J., Mathur R. Copper Isotope Constraints on the Genesis of the Keweenaw Peninsula Native Copper District. Michigan, USA. *Minerals*. 2017. Iss. 7 (10). P. 185. <https://doi.org/10.3390/min7100185>
- Brown A.C. Copper Isotope Constraints on the Genesis of the Keweenaw Peninsula Native Copper District, Michigan, USA: A Comment. *Minerals*. 2018. Iss. 8 (11). P. 506. <https://doi.org/10.3390/min8110506>
- Emetz A., Piestrzynski A., Zagnitko V. Geological framework of the Volhyn copper fields with a review of the Volhyn flood basalt province (western margin of the East-European Craton). *Ann. Soc. Geol. Pol.* 2004. No. 74. P. 257–265.
- Kale V.S., Bodas M., Chatterjee P., Pande K. Emplacement history and evolution of the Deccan Volcanic Province, India. *Episodes*. 2020. No. 43. P. 278–299. <https://doi.org/10.18814/EPIUGS/2020/020016>
- Naumko I., Batsevych N., Fedoryshyn Yu., Pavlyuk M., Myshchyshyn Yu., Repyn I. Peculiarities of the distribution of thickness and paleo-surface relief of basalts of Luchychi strata (Western Volyn). *Geodynamics*. 2021. No. 1 (30). P. 36–47. <https://doi.org/10.23939/jgd.2021.01.036>
- Narkiewicz, M., Maksym, A., Malinowski, M., Grad, M., Guterch, A., Petecki, Z., Probulski, J., Janik, T., Majdanski, M., Sroda, P., Czuba, W., Gaczynski, E., Jankowski, L. Transcurrent nature of the Tesisseyre-Tornquist Zone in Central Europe: results of the POLCRUST-01 deep reflection seismic profile. *Intern. Journ. of Earth Sciences*. 2015. Vol. 104 (3). P. 775–796. <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00531-014-1116-4>
- Ross P.-S., Ukstins Peate I., Mc Clintock M.K., Xu Y.G., Skilling I.P., White J.D.L., and Houghton B.F. Mafic volcanoclastic deposits in flood basalt provinces: a review. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 2005. Vol. 145. P. 281–314. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvolgeoes.2005.02.003>
- Środoń Jan, Kuzmenkova Oksana, Stanek Jan, Petit Sabine, Beaufort Daniel, Gilg H. Albert, Liivamägi Sirle, Goryl Magdalena, Marynowski Leszek, Szczerba Marek. Hydrothermal alteration of the Ediacaran Volyn-Brest volcanics on the western margin of the East European Craton. *Precambrian Research*. June 2019. Vol. 325. P. 217–235.
- Wager L.R., Deer W.A. Geological investigations in East Greenland, Part 3. *The Petrology of the Skaergaard intrusion Kangerdlugssaug, East Greenland*. – Medd. Gronland, 1939. Bd. 105, No. 4. 355 p.
- Batsevych N.V., Naumko I.M., Fedoryshyn Yu.I. 2023. Petrographic characteristics of the pyroclastic material within the limits of the Babynska Suite and Zoryanska thickness of the continental flood basalts of Western Volyn. *From Mineralogy and Geognosy to Geochemistry, Petrology, Geology and Geophysics: fundamental and applied trends of the 21st century: Proceedings of the All-Ukrainian Conference (MinGeoIntegration XXI–2023)* (Kyiv, September 27–29, 2023). Kyiv: Taras Shevchenko KNU, p. 97–100 (in Ukrainian).
- Batsevych N.V., Naumko I.M., Fedoryshyn Yu.I. 2023. The Babynskao suite tuffs of continental flood basalts of the Western Volyn: petrography, petrochemistry, genetic and applied significance. *Problems of applied geological sciences and ways to overcome them (to the 160th anniversary from the birth of V.I. Vernadskyi): Collection of materials of the All-Ukrainian Scientific Conference* (Kyiv, September 19–20, 2023) / NAS of Ukraine, M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation. Kyiv, p. 52–57 (in Ukrainian).
- Bornhorst, T.J., Mathur, R. 2017. Copper Isotope Constraints on the Genesis of the Keweenaw Peninsula Native Copper District. Michigan, USA. *Minerals*, 7 (10): 185. <https://doi.org/10.3390/min7100185>
- Botvinkina L.N. Genetic types of deposits in areas of active volcanism. 1974. Moscow: Nauka. P. 108–116. (Works of the Geological Institute of the USSR Academy of Sciences; Vol. 263) (in Russian).
- Brown, A.C. 2018. Copper Isotope Constraints on the Genesis of the Keweenaw Peninsula Native Copper District, Michigan, USA: A Comment. *Minerals*, 8 (11): 506. <https://doi.org/10.3390/min8110506>
- Copper in Volyn. 2002. *Scientific works of the Institute of Fundamental Research*. (Res. ed. V.O. Shumlyanskyi). Kyiv (in Ukrainian).
- Drits V.A., Sakharov B.A. 1976. X-ray structural analysis of mixed-layer minerals. Moscow: Nauka (in Russian).
- Efremova S.V., Stafeev K.G. 1985. Petrochemical methods for studying rocks. Reference manual. Moscow: Nedra (in Russian).
- Emetz A., Piestrzynski A., Zagnitko V. 2004. Geological framework of the Volhyn copper fields with a review of the Volhyn flood basalt province (western margin of the East-European Craton). *Ann. Soc. Geol. Pol.*, 74: 257–265.
- Kale V.S., Bodas M., Chatterjee P., Pande K. 2020. Emplacement history and evolution of the Deccan Volcanic Province, India. *Episodes*, 43: 278–299. <https://doi.org/10.18814/EPIUGS/2020/020016>
- Kotova L.N. 1966. Ash lapilli from the Devonian volcanogenic-sedimentary series of the Tarbagatai ridge. *Lithology and minerals*, 2: 58–64 (in Russian).
- Lazarenko E.K., Volovnik B.Ya. 1969. New data about the volcanic rocks of the Volyn series of the western edge of the Russian platform. *Geologičnij žurnal*, 29, 1 (124): 12–22 (in Ukrainian).
- Lazarenko Ye.K., Matkovskiy O.I., Vynar O.M., Shashkina V.P., Hnativ H.M. 1960. Mineralogy of the eruptive complexes of Western Volyn. Lviv: Publisher of Lviv University (in Ukrainian).
- Melnychuk V., Melnychuk G. 2022. Updated stratigraphic scheme of the Volyno-Podillia Neoproterozoic. Problems of the geology of Ukraine: *Collection of scientific works based on the results of the 13th All-Ukrainian Scientific Conference* (Lviv, October 3–5, 2022). Lviv: LNU named after Ivan Franko, p. 36–45 (in Ukrainian).
- Melnychuk V.G. 2010. Geology and copper-bearing Lower Vendian trappean complexes of south-western part of the East-European platform. (Unpublished of Doctor Geology thesis). Kyiv (in Ukrainian).
- Melnychuk V.G. 2008. A zeolite-smectite layer of tuffs in lower-vendian trap-rocks of south-west parts of east-european platform, their origins and prospect of the use. *Collection of science Ave. of the Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 1: 104–111 (in Ukrainian).

References

Alexander P.O. & Thomas H. 2011. Copper in Deccan Basalts (India): review of the abundance and patterns of distribution. *Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología*, 79–81, (Rosario, 01-07-2011): 107–112. ISSN 1666-115X

- Melnychuk V.G. 2022. Copper ladders of Volyn and neighboring territories of Eastern Europe. Rivne: NUVHP (in Ukrainian).
- Melnychuk V.G., Mateyuk V.V. 2000. Volyno-Podillia tuffs as a new type of mineral resources. *Problems of rational use, protection and reproduction of the natural resource potential of Ukraine*. Chernivtsi: Ruta, p. 133–134 (in Ukrainian).
- Mikheev V.I. 1957. X-ray determinant of minerals. Moscow: Gosgeoltekhizdat (in Russian).
- Narkiewicz, M., Maksym, A., Malinowski, M., Grad, M., Guterch, A., Petecki, Z., Probulski, J., Janik, T., Majdanski, M., Sroda, P., Czuba, W., Gaczynski, E., Jankowski, L. 2015. Transcurrent nature of the Teisseyre-Tornquist Zone in Central Europe: results of the POLCRUST-01 deep reflection seismic profile. *Int. J. of Earth Sciences*, 104 (3): 775–796. <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00531-014-1116-4>
- Naumko I., Batsevych N., Fedoryshyn Yu., Pavlyuk M., Myshchysyn Yu., Repyn I. 2021. Peculiarities of the distribution of thickness and paleo-surface relief of basalts of Luchychi strata (Western Volyn). *Geodynamics*, 1 (30): 36–47. <https://doi.org/10.23939/jgd.2021.01.036>
- Nesterovych N.V. 2014. Geochemistry of fluids of formation medium of copper-bearing parageneses in volcanites of the trappean formation of junction areas of the Volyn Paleozoic uplift with the Volyn-Podillya monocline. (Extended abstract of Candidate Geology thesis). (equivalent to Philosophy Doctor). Lviv (in Ukrainian).
- Nesterovych N.V., Kosovskiy Ya.A., Naumko I.M., Fedoryshyn Yu.I. 2014. Pyroclastic pisolithes of the trappean formation in the North-Western Volyn (Lukiv-Ratno horst zone). *Native geology*, 1: 41–47 (in Russian).
- Prikhodko V.L. Kosovskiy Ya.A., Ivaniv I.N. 1993. Prospects for the copper content of volcanogenic formations of the Volyn series of the Lukov-Ratno horst zone. *Geologičnij žurnal*, 4 (271): 138–143 (in Russian).
- Ross P.-S., Ukstins Peate I., Mc Clintock M.K., Xu Y.G., Skilling I.P., White J.D.L., and Houghton B.F. 2005. Mafic volcanoclastic deposits in flood basalt provinces: a review. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 145: 281–314. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2005.02.003>
- Semenenko M.P., Savchenko M.A., Klushin V.I. 1976. Pripyat shaft (deep structure, magmatism and metal content). Kyiv: Naukova Dumka (in Ukrainian).
- Semushin V.N. 1986. X-ray determinant of zeolites. Novosibirsk: Nauka (in Russian).
- Shumlyanskyi V.O., Derevska K.I., Syngavivskyi E.D., Chernyshova N.S. 1991. Copper-zeolite mineralization in Vendian basaltic tuffs on the western slope of the Ukrainian Shield and the nature of mineralizing solutions. *Reports of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR*, 9: 136–139 (in Ukrainian).
- Środoń Jan, Kuzmenkova Oksana, Stanek Jan, Petit Sabine, Beaufort Daniel, Gilg H. Albert, Liivamägi Sirle, Goryl Magdalena, Marynowski Leszek, Szczerba Marek. June 2019. Hydrothermal alteration of the Ediacaran Volyn-Brest volcanics on the western margin of the East European Craton. *Precambrian Research*, 325: 217–235.
- Stepanov V.B., Generalova L.V., Dvorhak T.S. 2013. Methodical instructions for laboratory classes from the courses “Analysis of Petrochemical Data” and “Geodynamic Reconstruction”. Part 1. Lviv (in Ukrainian).
- Tkachuk L.G. (Resp. ed.). 1977. Pyroclastic rocks of Ukraine. Kyiv: Naukova Dumka (in Russian).
- Wager L.R., Deer W.A. 1939. Geological investigations in East Greenland, Part 3. *The Petrology of the Skaergaard intrusion Kangerdlugssaug, East Greenland*. – Medd. Gronland. Bd. 105. No. 4. 355 p.
- Zinovenko G.V. 1986. The Baltic-Transnistrian zone of pericratonic lowerings. (Ed. R.G. Garetsky). Minsk: Nauka i tehnika (in Russian).