

УДК 551.32/46:552

ХАРАКТЕРИСТИКА ВЗІРЦІВ ПОРІД, ВІДІБРАНИХ З ЛАВРЕНТІЙСЬКОГО КОНУСА ВІНОСУ (ПІВНІЧНО-ЗАХІДНА ЧАСТИНА АТЛАНТИЧНОГО ОКЕАНУ)

¹*Наталія Білик, асистент кафедри мінералогії, петрографії і геохімії
імені професора Ореста Матковського
nataliya.bilyk@lnu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0002-9684-195X>*

¹*Ірина Побережська, канд. геол.-мін. наук, доцент, зав. кафедри мінералогії,
петрографії і геохімії імені професора Ореста Матковського
<https://orcid.org/0000-0001-5020-8326>*

¹*Вероніка Білай, студентка
<https://orcid.org/0009-0002-4505-0119>
¹Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Грушевського, 4, Львів, Україна, 79005*

²*Анжела Шевчук, старший викладач кафедри технічної механіки
та інженерної графіки
<http://orcid.org/0000-0002-1790-6736>
²Національний університет «Львівська політехніка»,
вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна, 79013*

Лаврентійський конус – це депоцентр гляціальних відкладів плейстоцену. Він був сформований неогеновою флювіальною системою, а згодом «захоплений» льодовиковим потоком Лаврентійської затоки. Породи Лаврентійського конуса виносу мають округлі зглажені поверхні, що свідчить про їхню міграцію від корінних джерел на значну відстань. Серед цих порід визначено граніт (за результатами мікрозондового аналізу, містить польовий шпат, кварц, слюду, епідот, хлорит, кальцит, магнетит, титаніт, циркон), метаморфізований граніт (містить сидерофіліт, кварц, олігоклаз, хлорит, карбонат, рудний мінерал) і кварц-карбонатну породу (містить кальцит, доломіт, кварц, альбіт, лужний польовий шпат, мусковіт). Граніт зазнав метаморфізації за умов зеленосланцевої фації регіонального метаморфізму: за хлоритовим геотермометром – від 239 до 294 °С. Виявлено одне зерно рідкісного мінералу гальгенбергіту-(Ce) – водного карбонату (Ce) Ca(Ce,La,Nd)₂(CO₃)₄·H₂O.

Проаналізовано шляхи міграції Лаврентійського льодовика, який рухався на південний схід і був активний під час останнього, Віконсинського зледеніння. Зроблено висновок, що корінним джерелом досліджуваних порід із Лаврентійського конуса виносу був Аппалачський ороген.

Ключові слова: Лаврентійський конус виносу, граніт, польовий шпат, гляціальні відклади, Аппалачський ороген.

DOI <https://doi.org/10.30970/min.74.07>

Вступ. Лаврентійський конус – це депоцентр гляціальних відкладів плейстоцену. Він є найбільшим глибоководним конусом на атлантичному узбережжі Канади [5]. Лаврентійська затока простягається на 1400 км за ширини 100–150 км. Це глибокий U-подібний

жолоб, що тягнеться від лиману Святого Лаврентія до шельфу між Новою Шотландією й Ньюфаундлендом. Початково він був сформований неогеновою флювіальною системою, а згодом був «захоплений» льодовиковим потоком Лаврентійської затоки, що рухався на південний схід і був активний під час останнього, Віконсинського зледеніння [4].



Рис. 1. Сертифікат з координатами місця відбирання взірців

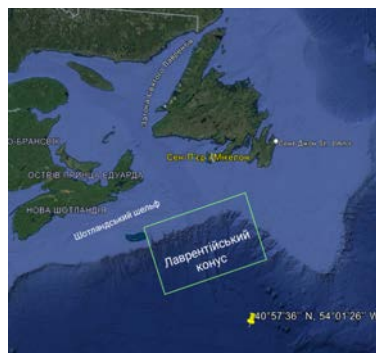


Рис. 2. Місце відбирання взірців порід

Шельфову частину переважно складають прогляціальні трансгресивні піски, гравій і гліціальні й післягліціальні мулові відклади. Прилегла до нього абісаль сформована стратифікованими прошарками піску й мулу, прогляціальними пісками та гравієм, погано відсортованими уламками, піщаним мулом. Ці відклади є результатом рухів льодовикових масивів [7].

Об'єктом досліджень були зразки порід, відібрані з глибини 4 865 м екіпажем судна приватного підприємства Subsea Environmental Services 14 червня 2019 р. Метою експедиції було відновлення підводних телекомунікаційних кабелів у північно-західній частині Атлантичного океану (на південний схід від Лаврентійського конуса), координати 40°57'36" N, 54°01'26" W (рис. 1, 2).

Мета досліджень – із застосуванням макро-, мікроскопічних і мікроаналітичних досліджень ідентифікувати три взірці порід, які відібрано з абісали північно-західної частини Атлантичного океану. Вивчення мінерального складу, петрографічних і геохімічних особливостей порід дасть змогу визначити їхнє походження та вірогідне корінне джерело.

Методи досліджень. Мінеральний склад і структурно-текстурні особливості порід ми вивчали в прозорих шліфах на мікроскопах фірми Olympus. Мікроаналітичні дослідження полірованих зразків виконано в лабораторії фізичного факультету ЛНУ імені Івана Франка за допомогою растрового (сканувального) електронного мікроскопа РЕММА-102-02 (Суми, Україна), обладнаного енергодисперсійним аналізатором EDAR, аналітик Р. Серкіз. Параметри проведення аналізу такі: прискорювальна напруга – 20 кВ, струм зонда – 1 нА, діаметр зонда – 0,1 мкм. Марка еталона, використаного для калібрування приладу, – НЭРМА. ГЕО1.25.10.74 ГТ; виробник – фірма Geotechnology (Україна). Для калібрування окремих елементів використано такі стандарти: Na – альбіт; Mg – периклаз; Al, Si, Ca – анортит; P – фтор-апатит; S – пірит; K – мікроклін; Ti – македоніт; Cr – есколаїт; Mn – манганіт; Fe – гематит; As – GaAs (синтетичний); Ba – барит; Sc, Co, Ni, Cu, Zr, Ag, Au – чисті елементи. Для опрацювання отриманих даних використано програмне забезпечення Magallanes 3.2.

Результати досліджень. Досліджувані взірці порід (рис. 3) різняться за забарвленням, текстурно-структурними особливостями та мінеральним складом [1].

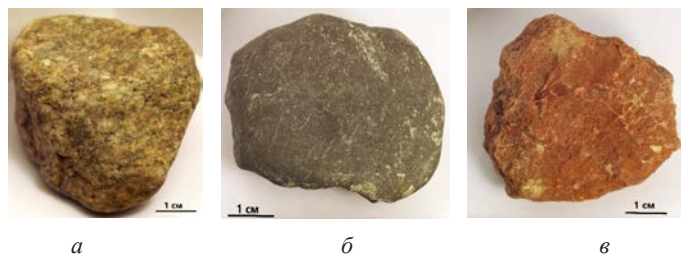


Рис. 3. Взірці досліджуваних порід

Взірець № 1 має сіро-білий колір, масивну текстуру і пронизаний темними прожилками (див. рис. 3, *a*). Під час мікроскопічних досліджень у породі виявлено такі мінерали: кварц, інтенсивно пелітизований лужний польовий шпат (рис. 4), серицитизований кислий плагіоклаз, хлоритизований біотит, рогова обманка, магнетит, епідот, циркон, титаніт, кальцит. Структура породи гіпдіоморфнозерниста. Кристали породоутворювальних фемічних мінералів і плагіоклазу мають найдосконаліші ідіоморфні обриси; калішпат і кварц частково ідіоморфні (гіпдіоморфні). Мікрозондовим аналізом у взірці визначено польовий шпат, кварц, слюду, епідот, хлорит, кальцит; рудні мінерали представлені магнетитом, акцесорні – титанітом і цирконом.

Польові шпати представлені плагіоклазом і калієвим польовим шпатом (рис. 5). За даними мікроаналітичних досліджень (табл. 1), на трикутній діаграмі (рис. 6) фігуративні точки плагіоклазу потрапляють у поле олігоклазу. Олігоклаз формує зерна розміром близько 1 мм, а калішпат утворює виділення неправильної форми розміром близько 0,2–0,4 мм у плагіоклазі (див. рис. 5).

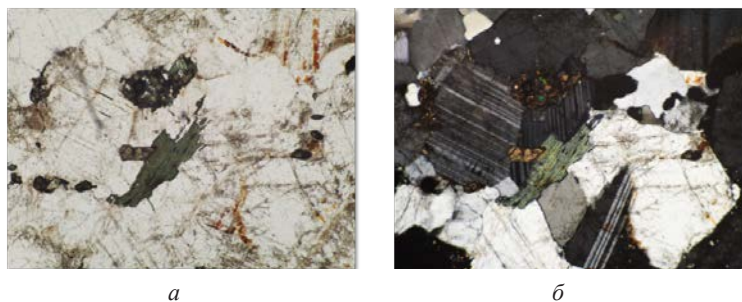
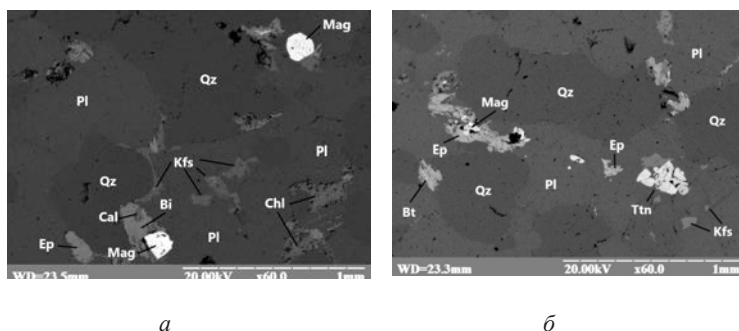
Рис. 4. Граніт під мікроскопом, $\times 60$: *a* – без аналізатора; *б* – з аналізатором

Рис. 5. BSE-зображення взірця № 1. Мінерали: плагіоклаз – Pl, калішпат – Kfs, кварц – Qz, магнетит – Mag, кальцит – Cal, хлорит – Chl, біотит – Bt, епідот – Ep, титаніт – Ttn

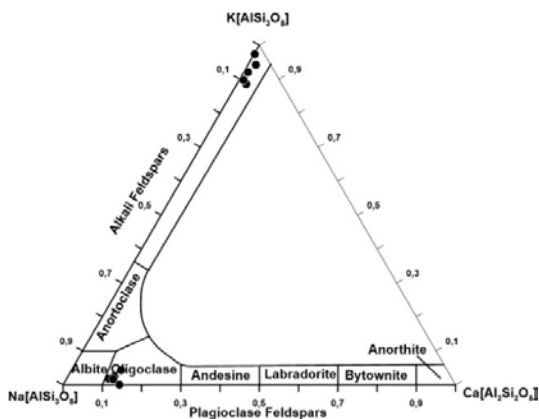


Рис. 6. Хімічний склад польових шпатів у трикомпонентній системі Na–K–Ca

Таблиця 1

Хімічний склад (мас. %) і формульні коефіцієнти польових шпатів

Компо- ненти	Номер проби									
	1	5	9	19	21	4	6	13	16	18
SiO ₂	63,85	64,53	64,59	64,52	64,73	61,06	62,00	62,28	62,23	62,27
TiO ₂	0	0,11	0,02	0,34	0,00	0,38	0,60	0,00	0,02	0,31
Al ₂ O ₃	21,39	20,75	21,15	21,42	21,29	17,83	18,70	18,85	18,37	17,86
FeO	0,22	0,04	0,05	0,00	0,00	0,36	0,29	0,57	0,09	0,00
MnO	0	0,26	0,01	0,00	0,14	0,03	0,13	0,00	0,00	0,15
MgO	0,75	0,86	0,80	0,98	0,99	0,87	0,87	0,99	0,98	1,13
CaO	2,52	2,38	2,62	2,58	2,98	0,55	0,24	0,04	0,24	0,45
Na ₂ O	10,00	10,73	10,45	9,42	9,85	1,12	0,80	0,28	1,15	0,45
K ₂ O	0,42	0,35	0,31	0,75	0,00	16,91	16,30	16,97	16,93	17,38
Сума	99,14	100	100	100	100	99,10	99,90	100	100	100
Формульні коефіцієнти										
Al	1,13	1,09	1,11	1,13	1,12	1,01	1,04	1,05	1,02	1,00
Si	2,83	2,85	2,84	2,84	2,84	2,89	2,89	2,90	2,91	2,91
Ti	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,02	0	0,00	0,00
Сума	3,97	3,94	3,96	3,97	3,96	3,91	3,95	3,95	3,93	3,91
Мінали										
Na	0,87	0,93	0,90	0,81	0,85	0,10	0,07	0,03	0,11	0,04
K	0,02	0,02	0,02	0,04	0,00	1,04	0,98	1,02	1,02	1,05
Ca	0,12	0,11	0,13	0,12	0,14	0,03	0,01	0,00	0,01	0,02
Сума	1,02	1,06	1,05	0,98	0,99	1,17	1,07	1,05	1,14	1,11
Мінали										
Ab	0,86	0,87	0,86	0,83	0,86	0,09	0,07	0,02	0,09	0,04
An	0,12	0,11	0,12	0,13	0,14	0,02	0,01	0,00	0,01	0,02
Or	0,02	0,02	0,02	0,04	0,00	0,89	0,92	0,97	0,90	0,94

Кристалохімічна формула плагіоклазів (за мінальним складом) – $Ab_{0,83-0,87}An_{0,11-0,14}$ $Or_{0,00-0,04}$, а лужних польових шпатів – $Or_{0,89-0,97}Ab_{0,02-0,09}An_{0,00-0,02}$.

Слюда утворює в породі пластинчасті виділення (див. рис. 5) розміром близько 0,2 мм. Хімічний склад слюди, за результатами мікроаналітичних досліджень, такий, мас. %: SiO_2 – 32,64–35,04; TiO_2 – 1,02–1,09; Al_2O_3 – 15,54–16,81; FeO – 22,91–24,82; MnO – 0,47–0,49; MgO – 9,98–10,63; CaO – 0,00–0,16; Na_2O – 1,00–1,02; K_2O – 7,56–9,67. На кваліфікаційній діаграмі Ф. Явуза для слюд [9] досліджуваний мінерал потрапляє в поле магнезійно-залізистої слюди – сидерофіліту (рис. 7).

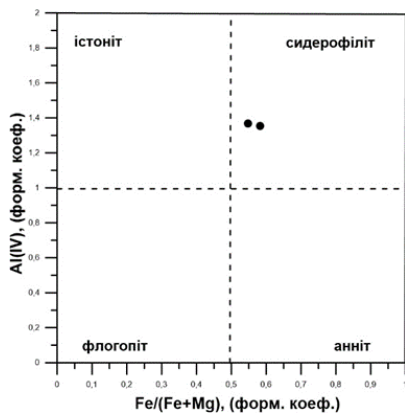
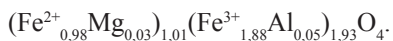


Рис. 7. Класифікаційна діаграма Ф. Явуза для слюд [9]

Епідот формує зерна видовженої форми розміром до 0,3 мм. Його хімічний склад, за результатами мікрозондового аналізу, такий, мас. %: SiO_2 – 35,59–36,42; Al_2O_3 – 20,84–21,25; Fe_2O_3 – 11,7–12,86; MnO – 0–0,64; MgO – 1,04–1,18; CaO – 24,19–24,79; Na_2O – 0,82–0,92. Залізистість епідоту F коливається від 0,26 до 0,28.

Хлорит наявний у вигляді зерен неправильної форми, частково пластинчастих, розміром 0,3–0,4 мм. Хімічний склад хлориту, за даними мікроаналітичних досліджень, такий, мас. %: SiO_2 – 28,51; TiO_2 – 0,59; Al_2O_3 – 18,6; FeO – 22,29; MnO – 0,09; MgO – 16,66; CaO – 0,15; Na_2O – 0,91. Отже, мінерал належить до магнезійних хлоритів, а саме – до клінохлору [10].

Рудні мінерали представлені магнетитом, який формує ізометричні виділення розміром 0,2–0,3 мм. Кристалохімічна формула магнетиту, за результатами мікроаналітичних досліджень, така:



Серед акцесорних мінералів визначено циркон (поодинокі зерна розміром близько 0,1 мм) і титаніт (зерна видовженої форми розміром 0,1 мм).

Отже, за результатами макро- та мікроаналітичних досліджень виявилось, що порода у взірці № 1 – це граніт, який зазнав незначних вторинних змін.

Взірець № 2 – це прихованокристалічний агрегат темно-сірого кольору, з масивною текстурою (див. рис. 3, б), складений серицитом, кварцом, кислим плагіоклазом, хлоритом, карбонатом і рудним мінералом (рис. 8 і 9, а). Виявлено одне зерно гальгенбергіту-(Ce) (galgenbergite-(Ce)) (рис. 9, б). Значне поширення в породі серициту, хлориту й карбонату дає змогу зробити висновок, що порода первинно гранітного складу зазнала метаморфізації за термодинамічних умов зеленосланцевої фації регіонального метаморфізму.

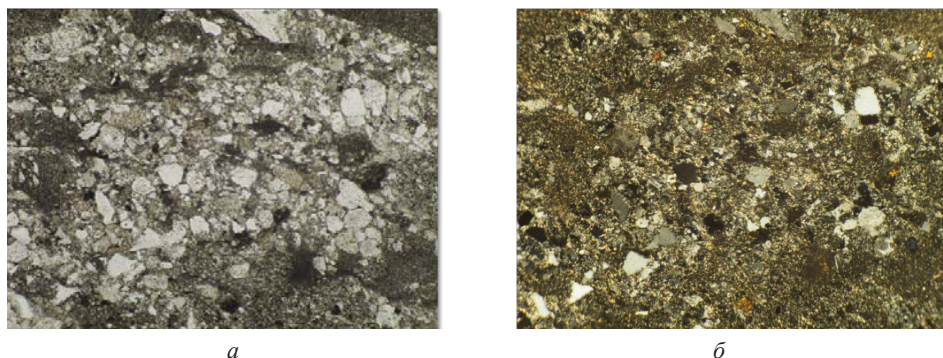


Рис. 8. Шліф взірця № 2, $\times 60$: *a* – без аналізатора; *б* – з аналізатором

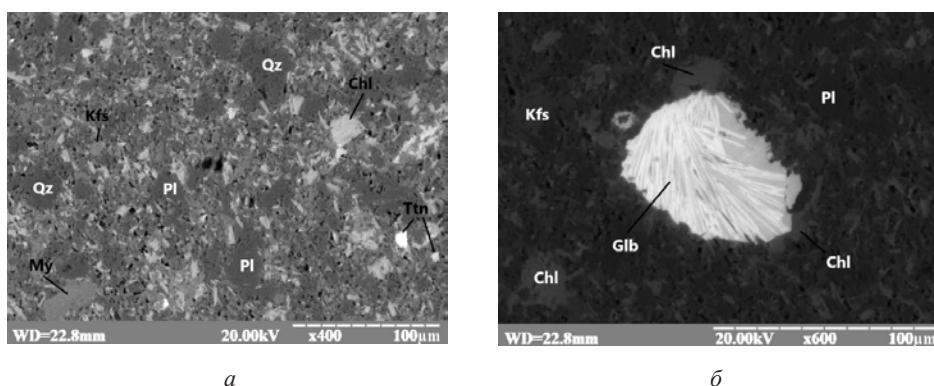


Рис. 9. BSE-зображення метаморфізованого граніту. Мінерали: кварц – Qz, плагіоклаз – Pl, калішпат – Kfs, хлорит – Chl, гальгенбергіт-(Ce) – Glb (*б*)

Польові шпати формують зерна розміром близько 10–20 мкм (див. рис. 9). За результатами мікрозондового аналізу (табл. 2), фігуративні точки плагіоклазів на трикутній діаграмі польових шпатів потрапляють у поле альбіту (рис. 10).

Таблиця 2

Хімічний склад (мас. %) і формульні коефіцієнти польових шпатів

Компоненти	Номер проби				
	4	6	10	13	14
SiO ₂	62,43	67,24	67,60	62,25	65,81
TiO ₂	0,00	0,04	0,00	0,60	0,00
Al ₂ O ₃	18,60	20,24	19,00	17,47	20,56
FeO	0,78	0,19	1,12	1,55	0,48
MnO	0,00	0,02	0,08	0,00	0,00
MgO	1,20	1,13	1,06	1,09	1,14
CaO	0,00	0,00	0,04	0,15	1,55
Na ₂ O	1,47	10,87	10,80	0,96	9,93

Продовження таблиці 2

Компоненти	Номер проби				
	4	6	10	13	14
K ₂ O	15,51	0,26	0,28	15,94	0,54
Сума	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Формульні коефіцієнти					
Al	1,02	1,04	0,99	0,98	1,08
Si	2,91	2,94	2,96	2,91	2,89
Ti	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
Сума	3,93	3,99	3,95	3,91	3,96
Na	0,13	0,92	0,93	0,09	0,86
K	0,92	0,01	0,02	0,96	0,03
Ca	0,00	0,00	0,00	0,01	0,07
Сума	1,06	0,94	0,95	1,06	0,96

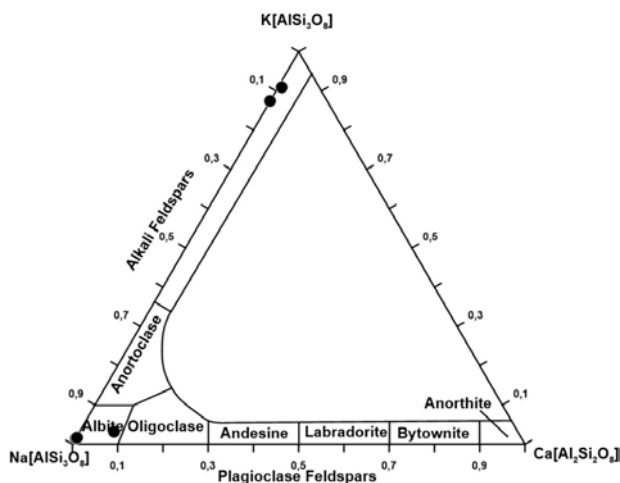
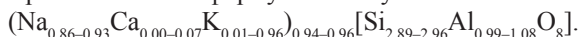
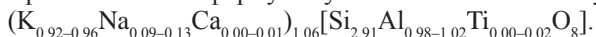


Рис. 10. Хімічний склад досліджених польових шпатів у трикомпонентній системі Na–K–Ca

Кристалохімічна формула альбіту така:



Кристалохімічна формула лужного польового шпату така:



Хлорит у породі наявний у вигляді пластинчастих виділень і формує облямівки навколо гальгенбергіту-(Се) (див. рис. 9). За результатами мікрозондового аналізу (табл. 3), фігуративні точки досліджуваного мінералу потрапляють на трикутній діаграмі хлоритів на межу між Mg-хлоритами (клінохлор) та Fe-хлоритами (шамозит) (рис. 11).

За хлоритовим геотермометром, за даними різних дослідників (Cathelineau & Nieva, 1985; Kranidiotis & Maclean, 1987; Inoue et al., 2009), температура мінералоутворення змінювалась від 239 до 294 °С.

Таблиця 3

Хімічний склад (мас. %) і формульні коефіцієнти хлориту

Компоненти	Номер проби			
	3	5	9	12
SiO ₂	30,16	29,00	27,46	27,29
TiO ₂	0	0,43	0,16	0,38
Al ₂ O ₃	20,14	19,4	18,82	20,00
FeO	29,79	29,06	30,16	29,47
MnO	0	0,50	0,72	1,15
MgO	9,72	8,36	9,68	8,73
Na ₂ O	0	0,90	1,33	1,14
K ₂ O	0	1,96	0,30	0,58
Сума	89,81	89,62	88,63	88,74
Формульні коефіцієнти				
Si	3,10	3,05	2,93	2,90
Al	0,90	0,91	1,06	1,07
Ti	0,00	0,03	0,01	0,03
Сума	4,00	4,00	4,00	4,00
Al	1,57	1,52	1,34	1,47
Mg	1,51	1,33	1,56	1,40
Mn	0,00	0,05	0,07	0,10
Fe ²⁺	2,59	2,59	2,73	2,66
Сума	5,67	5,48	5,69	5,63

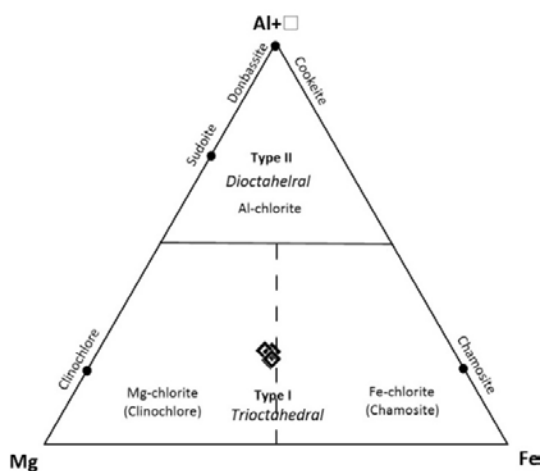


Рис. 11. Діаграма складу породотворювальних хлоритів у трикомпонентній системі Mg–Al+□–Fe, де □ – вакансії в октаедричній позиції (Al³⁺, Fe³⁺) [10]

Хімічний склад мусковіту, представленого в породі пластинчастими виділеннями розміром близько 300 мкм, за результатами мікрозондового аналізу такий, мас. %: SiO_2 – 50,37; TiO_2 – 0,53; Al_2O_3 – 26,37; FeO – 4,31; MnO – 0,19; MgO – 4,61; CaO – 0,05; Na_2O – 0,79; K_2O – 11,31. Кристалохімічна формула мусковіту така:



Поодинокі зерна титаніту розміром близько 10 мкм мають такий хімічний склад (за даними мікрозондового аналізу), мас. %: SiO_2 – 29,99; TiO_2 – 32,51; Al_2O_3 – 6,48; FeO – 1,28; MnO – 0,08; MgO – 0,82; CaO – 28,20; Na_2O – 0,45; K_2O – 0,19. Кристалохімічна формула титаніту така:



У взірці № 2 виявлено рідкісний мінерал гальгенбергіт-(Ce). Це водний карбонат-(Ce) з формулою $\text{Ca}(\text{Ce},\text{La},\text{Nd})_2(\text{CO}_3)_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Уперше його визначили [3] у невеликих тріщинах в альбіт-хлоритовому сланці в залізничному тунелі Гальгенберг між Леобеном і Сент-Міхалом у Штирії, Австрія. Досліджуваний мінерал формує голчасті до розеткоподібних утворення (див. рис. 9, б) з довжина голок – від 20 до 50 мкм. Хімічний склад, за результатами мікроаналітичного дослідження, такий, мас. %: SiO_2 – 1,59; FeO – 1,74; CaO – 4,67; La_2O_3 – 15,12; Ce_2O_3 – 24,23; Pr_2O_3 – 2,68; Nd_2O_3 – 9,89. Кристалохімічна формула гальгенбергіту-(Ce) має такий вигляд:



Отже, за результатами макро- та мікроаналітичних досліджень взірця № 2 – це метаморфізований граніт. Порода зазнала метаморфізації за термодинамічних умов зеленосланцевої фації регіонального метаморфізму, що підтверджують результати обчислення температури мінералоутворювального середовища за хлоритовим геотермометром: від 239 до 294 °C.

Взорець № 3 (див. рис. 3, в) має бурий до цегляного колір і кавернозну текстуру. Порода складена карбонатом, уламковим кварцом, слюдистим мінералом і плагіоклазом (рис. 12). Також у шліфі виявлено літоїд – уламок гірської породи, вірогідно, метаморфічного генезису.

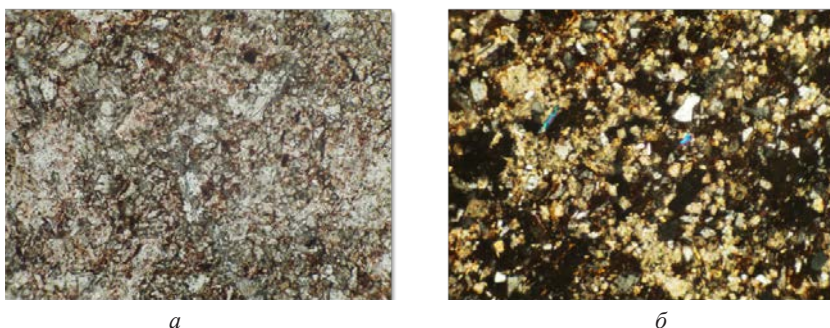


Рис. 12. Шліф взірця № 3, $\times 60$: а – без аналізатора; б – з аналізатором

Мікроаналітичні дослідження засвідчили, що серед мінералів кількісно переважають карбонати (55–60 % породи). Вони представлені кальцитом і доломітом (рис. 13, табл. 4). Доломіт формує щільні масивні виділення з вкрапленнями кальциту й інших мінералів і має таку кристалохімічну формулу: $\text{Ca}_{1,02}(\text{Mg}_{0,80-0,93}\text{Mn}_{0,03-0,07}\text{Fe}^{2+}_{0,00-0,04})_{0,91-0,97}[\text{CO}_3]_2$. Кальцит представлений поодинокими зернами розміром близько 0,01 мм або розвинутий по системі тріщин. Його кристалохімічна формула $(\text{Ca}_{0,92}\text{Mn}_{0,03}\text{Mg}_{0,02})_{0,97}[\text{CO}_3]_2$.

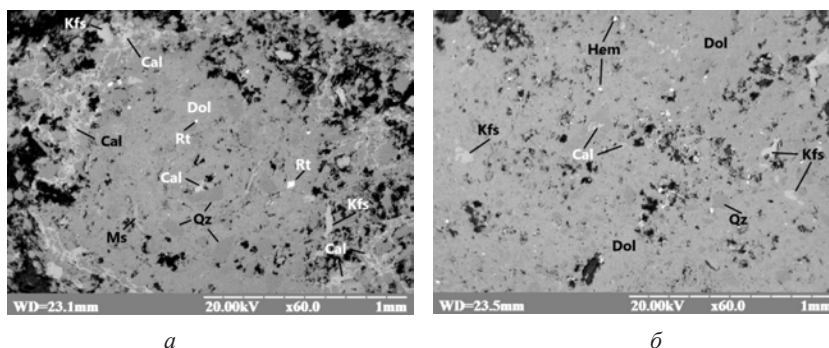


Рис. 13. BSE-зображення взірця № 3. Мінерали: калішпат – Kfs, кварц – Qz, кальцит – Cal, доломіт – Dol, гематит – Hem, рутил –Rt, мусковіт – Ms

Таблиця 4

Хімічний склад (мас. %) і формульні коефіцієнти карбонатів

Компоненти	Номер проби				
	4	6	7	11	16
SiO ₂	2,14	0,84	0,84	2,07	3,00
TiO ₂	0	0	0,20	0	0
Al ₂ O ₃	0,95	0,86	1,03	1,81	1,77
FeO	0,19	0,34	0	1,49	1,04
MnO	1,61	2,33	2,32	2,44	2,36
MgO	20,00	0,90	19,65	17,02	18,12
CaO	30,41	53,66	31,02	30,01	30,30
Na ₂ O	0	0,11	0,55	0,58	0,69
K ₂ O	0,15	0	0,09	0,16	0,23
Сума	55,45	59,06	55,7	55,58	57,51
Формульні коефіцієнти					
Mg	0,93	0,02	0,91	0,80	0,83
Mn	0,04	0,03	0,06	0,07	0,06
Fe	0,00	0,00	0,00	0,04	0,03
Сума	0,97	0,05	0,97	0,91	0,92
Ca	1,02	0,92	1,03	1,02	1,00

Варіації хімічного складу досліджених карбонатів проілюстровано на трикомпонентній системі MgO–CaO–FeO (рис. 14).

Польові шпати у вигляді поодиноких зерен розміром близько 0,1 мм представлені, за результатами мікрозондового аналізу (табл. 5), лужними польовими шпатами і плагіоклазами. На трикутній діаграмі хімічного складу польових шпатів Na–K–Ca досліджені плагіоклази потрапляють у поле альбіту (рис. 15).

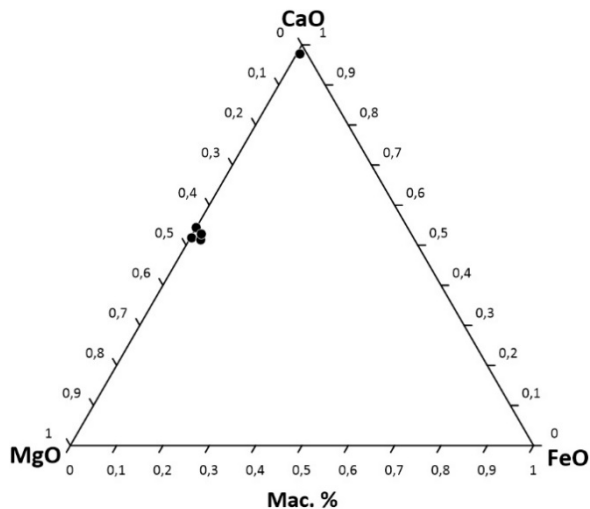


Рис. 14. Досліджувані карбонати на трикутній діаграмі MgO–CaO–FeO

Таблиця 5

Хімічний склад (мас. %) і формульні коефіцієнти польових шпатів

Компоненти	Номер проби						
	1	2	9	10	12	13	15
SiO ₂	61,90	63,42	60,95	61,48	67,21	62,05	63,29
TiO ₂	0,25	0,16	0,58	0,25	0,05	0,02	0,11
Al ₂ O ₃	18,30	22,09	17,96	18,35	19,16	18,12	22,64
FeO	0,00	0,13	0,28	0,07	0,32	0,27	0,24
MnO	0,00	0,21	0,37	0,31	0,07	0,00	0,00
MgO	1,27	0,81	1,44	1,01	1,30	0,96	0,60
CaO	0,28	0,67	0,40	0,65	0,21	0,36	0,00
Na ₂ O	1,30	12,45	1,36	0,96	11,58	0,98	13,11
K ₂ O	16,69	0,06	16,67	16,89	0,09	17,25	0,00
Сума	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Формульні коефіцієнти							
Na	0,12	1,08	0,13	0,09	1,00	0,09	1,14
K	1,01	0,00	1,01	1,02	0,01	1,04	0,00
Ca	0,01	0,03	0,02	0,03	0,01	0,02	0,00
Сума	1,14	1,12	1,16	1,15	1,01	1,15	1,14
Al	1,02	1,17	1,01	1,03	1,00	1,01	1,19
Si	2,89	2,80	2,86	2,88	2,94	2,91	2,79
Ti	0,01	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
Сума	3,92	3,97	3,89	3,92	3,94	3,92	3,99

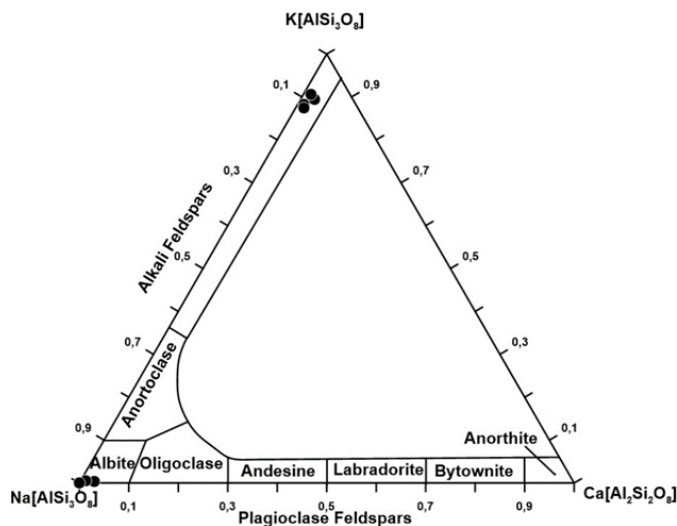


Рис. 15. Хімічний склад польових шпатів на трикомпонентній діаграмі Na–K–Ca

Мусковіт у породі утворює лускуваті до пластинчастих виділення завдовжки до 0,3 мм (див. рис. 13, а, 16). Його хімічний склад, за результатами мікроаналітичних досліджень, такий, мас. %: SiO₂ – 41,00–43,92; TiO₂ – 1,45; Al₂O₃ – 31,03–32,94; FeO – 1,35–2,07; MnO – 0,15; MgO – 2,15–2,30; CaO – 0,63–2,45; Na₂O – 1,51–1,70; K₂O – 9,83–11,16. Кристалохімічна формула мінералу така:

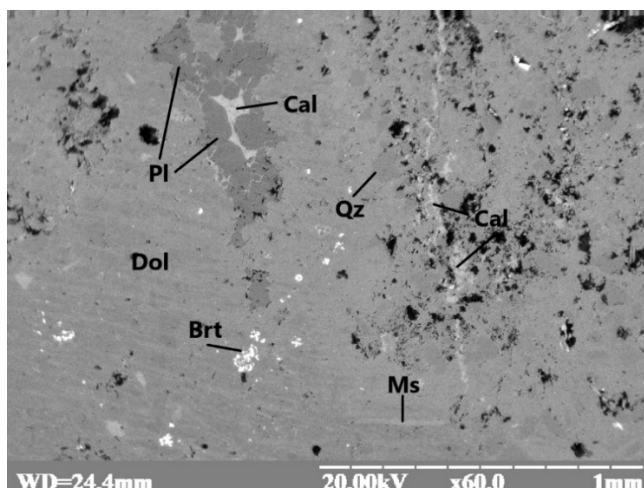
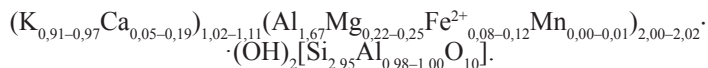


Рис. 16. BSE-зображення взірця № 3. Мінерали: доломіт – Dol, кальцит – Cal, мусковіт – Ms, кварц – Qz, плагіоклаз – Pl, барит – Brt

Рутил у вигляді поодиноких зерен розміром близько 0,01 мм має такий хімічний склад, мас. %: SiO_2 – 1,44; TiO_2 – 90,85; Al_2O_3 – 1,03; FeO – 0,17; MnO – 0,20; MgO – 2,32; CaO – 3,89. Його кристалохімічна формула така: $(\text{Ti}_{0,92}\text{Mg}_{0,05}\text{Al}_{0,02})_{0,99}\text{O}_2$.

Бурий колір взірця № 3 зумовлений, вірогідно, наявністю гематиту, який формує зерна неправильної форми розміром близько 0,01 мм. Хімічний склад гематиту, за результатами мікрозондового аналізу, такий, мас. %: SiO_2 – 7,68; TiO_2 – 7,26; Al_2O_3 – 1,53; Fe_2O_3 – 81,76–86,56; MnO – 0,15; MgO – 0,83–3,10; CaO – 0,25–5,06; Na_2O – 0,65; K_2O – 0,03–0,10. Відповідно, мінерал має таку кристалохімічну формулу: $(\text{Fe}^{3+}_{1,74-1,83}\text{Ti}_{0,05-0,08}\text{Al}_{0,03}\text{Mg}_{0,01-0,02})_{1,83-1,93}\text{O}_3$.

Отже, за результатами мікроскопічних та мікроаналітичних досліджень зроблено висновок, що взірець № 3 представлений кварц-карбонатною породою.

Обговорення результатів. Наші дослідження засвідчили, що серед вивчених взірців є такі породи, як граніт (взірець № 1), метаморфізований граніт (взірець № 2) і кварц-карбонатна порода (взірець № 3). Для всіх взірців характерна обкатана форма, що свідчить про їхнє транспортування від якихось корінних джерел.

Як доведено у праці [2], у формуванні затоки Фанді, Лаврентійського каналу та конуса виносу під час абляції Лаврентійського льодовикового щита й утворення місцевих льододілів важливу роль відігравали льодовикові потоки (рис. 17). На рис. 18 наведено моделі пересування льодовика з Лорантидів, Аппалачів та півострова Гаспе (Нова Шотландія, острів Принца Едуарда і східний Нью-Брансвік). Вирішальним напрямком є південний схід: Нью-Брансвік і півострів Гаспе, де, як видно на карті, переважають льодовики Аппалачів, на півночі мають винятково аппалачське походження [6], також частково наявний льодовиковий потік із Лорантидів.



Рис. 17. Карта-схема розташування та рельєф прилеглої території [6]

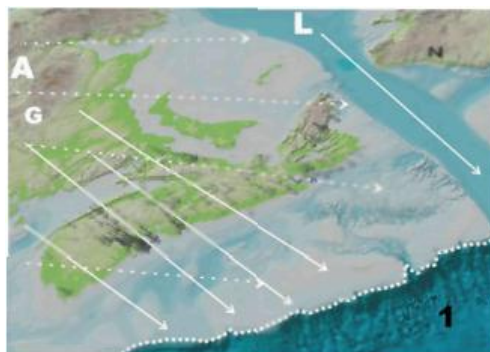


Рис. 18. Моделі пересування льодовика з Лорантидів (L), Аппалачів (A) та півострова Гаспе G [2]

Регіон Аппалачі – це палеозойський гірський пояс, або ороген. Це означає, що його породи зазнали впливу орогенезу, комбінованих ефектів складчастості, розломів, метаморфізму та плутонізму. Палеозойська складчастість і розломи кількох генерацій простягаються на північний схід [2, 6, 8]. Регіональні метаморфічні породи складають суцільні пояси у внутрішніх частинах орогена, а гранітні батоліти поширені на всій його довжині (рис. 19).

Отже, Лаврентійський льодовик, активний під час останнього (Віконсинського) зледеніння, рухався на південний схід. Аналіз шляхів його міграції та порівняння речовинного складу порід Аппалачського орогена з взірцями порід, відібраними з Лаврентійського конуса виносу, дали підстави припустити, що корінним джерелом досліджуваних нами порід був саме Аппалачський ороген.

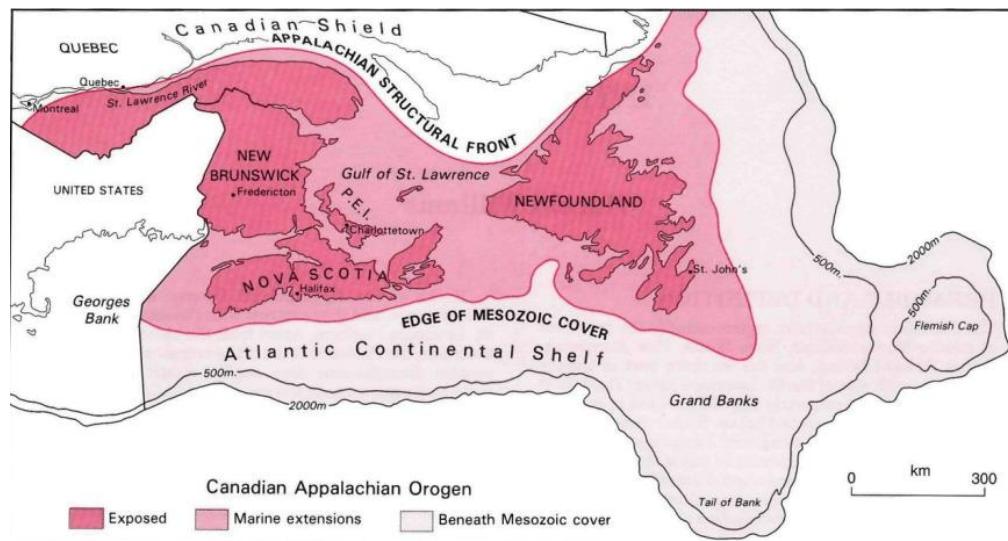


Рис. 19. Схематична карта регіону Канадських Аппалачів [8]

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Білик Н.Т., Білай В.П., Побережська І.В., Войтович С.П. Дослідження взірця породи з дна північно-західної частини Атлантичного океану (40°57'36" N, 54°01'26" W, 4865 м). *Світ наукових досліджень*. Випуск 25: матеріали Міжнародної мультидисциплінарної наукової інтернет-конференції. м. Тернопіль, Україна, м. Ополь, Польща, 14–15 грудня 2023 р. 362 с. С. 321–325. <http://www.economy-confer.com.ua/full-article/5154/>.
2. Finkl Ch.W., Fairbridge Rh.W. *Encyclopedia of Sciences Series*. <https://www.springer.com/series/5898/editors>.
3. Jambor J.L., Roberts A.C. New Mineral Names. *American Mineralogist*. 2004. Volume 89, p. 1826–1834.
4. Leng W., Dobeneck T., Just J., Aline G., Guillaume St-Onge, David J.W. Piper. Compositional changes in deglacial red mud event beds off the Laurentian Channel reveals source mixing, grain-size partitioning and ice retreat. 2019. P. 1–2.
5. Mosher D.C., Piper D.J.W. Multibeam seafloor imagery of the Laurentian Fan and the 1929 Grand Banks landslide area. Geological Survey of Canada, Open File 5638, 2007. Poster.
6. Olejczyk P., Gray J. T. The relative influence of Laurentide and local ice sheets during the last glacial maximum in the eastern Chic-Chocs Range, northern Gaspé Peninsula, Quebec. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 2007. 44 (11), 1603–1625.
7. Philibert G., Todd B.J., Campbell D.C., King E.L., Normandeau A., Hayward S.E., Patton E.R., Campbell L. Updated surficial geology compilation of the Scotian Shelf bioregion, offshore Nova Scotia and New Brunswick, Canada; Geological Survey of Canada. 2022.
8. Willams H. (edited). *Geology of the Appalachian-Caledonian orogen in Canada and Greenland*. *Geology of Canada*, 1995. no. 6. 101 p. <https://cboxgeopark.org/wp-content/uploads/2019/02/GEOLOGY-OF-THE-APPALACHIAN-OROGEN-June-2015.pdf>.
9. Yavuz F., Öztaş T. BIOTERM – a program for valuating and plotting microprobe analyse softbitite from barren and mineralized magmatic suites. *Computers & Geosciences*. 1997. Vol. 23. N 8. P. 897–907.
10. Zane A., Weiss Z. *Rend. Lincei. Sci. Fis. Nat.*, 1988. Iss. 9, pp. 51–56. <https://doi.org/10.1007/BF02904455>.

REFERENCES

1. Bilyk N.T., Bilai V.P., Poberezhska I.V., & Voitovych S.P. Doslidzhennia vzirtsia porody z dna pivnichno-zakhidnoi chastyny Atlantychnoho okeanu (40°57'36" N, 54°01'26" W, 4865 m) [Study of a rock sample from the bottom of the northwestern part of the Atlantic Ocean (40°57'36" N, 54°01'26" W, 4865 m)]. *Svit naukovykh doslidzhen*. Vypusk 25: materialy Mizhnarodnoi multydystrylinarnoi naukovoï internet-konferentsii. m. Ternopil, Ukraina, m. Opole, Polshcha, 14–15 hrudnia 2023 r.). 362 p. P. 321–325. <http://www.economy-confer.com.ua/full-article/5154/> [in Ukrainian].
2. Finkl, Ch.W., & Fairbridge, Rh.W. (editors) Encyclopedia of Sciences Series. <https://www.springer.com/series/5898/editors> [in English].
3. Jambor, J.L., & Roberts, A.C. (2004). New Mineral Names. *American Mineralogist*, Volume 89, p. 1826–1834 [in English].
4. Leng, W., Dobeneck, T., Just, J., Aline, G., Guillaume St-Onge, & David J.W. Piper. (2019). Compositional changes in deglacial red mud event beds off the Laurentian Channel reveals source mixing, grain-size partitioning and ice retreat. P. 1–2 [in English].
5. Mosher, D.C., & Piper, D.J.W. (2007). Multibeam seafloor imagery of the Laurentian Fan and the 1929 Grand Banks landslide area. Geological Survey of Canada, Open File 5638, Poster. [in English].
6. Olejczyk, P., & Gray, J.T. (2007). The relative influence of Laurentide and local ice sheets during the last glacial maximum in the eastern Chic-Chocs Range, northern Gaspé Peninsula, Quebec. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 44 (11), 1603–1625 [in English].
7. Philibert, G., Todd, B.J., Campbell, D.C., King, E.L., Normandeau, A., Hayward, S.E., Patton, E.R., & Campbell, L. (2022). Updated surficial geology compilation of the Scotian Shelf bioregion, offshore Nova Scotia and New Brunswick, Canada; Geological Survey of Canada [in English].
8. Willams, H.(edited) (1995). Geology of the Appalachian-Caledonian orogen in Canada and Greenland. *Geology of Canada*, no. 6. 101 p. Retrieved from: <https://caboxgeopark.org/wp-content/uploads/2019/02/GEOLOGY-OF-THE-APPALACHIAN-OROGEN-June-2015.pdf> [in English].
9. Yavuz, F., & Öztaş, T. (1997). BIOTERM – a program for valuating and plotting microprobe analyse softbiotite from barren and mineralized magmatic suites. *Computers & Geosciences*. Vol. 23. N 8. P. 897–907 [in English].
10. Zane, A., & Weiss, Z. (1998). *Rend. Lincei. Sci. Fis. Nat.*, Iss. 9, pp. 51–56. <https://doi.org/10.1007/BF02904455> [in English].

Стаття надійшла до редакції 02.05.2024

Стаття прийнята до друку 24.06.2024

CHARACTERISTICS OF ROCK SAMPLES SELECTED FROM THE LAURENTIAN CONE (NORTHWESTERN PART OF THE ATLANTIC OCEAN)

Nataliia Bilyk¹, Iryna Poberezhska¹, Veronika Bilai¹, Anzhela Shevchuk²

nataliya.bilyk@lnu.edu.ua

¹Ivan Franko National University of Lviv,
4, Hrushevskoho St., Lviv, Ukraine, 79005

²Lviv Polytechnic National University,
12, Bandery St., Lviv, Ukraine, 79013

The Lawrence Cone is a depository of Pleistocene glacial sediments. It was formed by the Neogene fluvial system and later was “captured” by the glacial flow of the Lawrence Gulf, which moved in a southeast direction and was active during the last (Visconsin) glaciation. The rocks of the Laurentian outcrop cone have rounded, smoothed surfaces, which indicates their migration from the original sediments over considerable distances. According to the results of our research, these are the following rocks: granite, metamorphosed granite, and quartz-carbonate rock.

Mineral composition (according to microprobe analysis) of granite: feldspar, quartz, mica, epidote, chlorite, carbonate (calcite); ore minerals – magnetite; accessories – titanite, zircon. Mineral composition of metamorphosed granite: mica (siderophyllite), quartz, acidic plagioclase (oligoclase), chlorite, carbonate and ore mineral. The granite was metamorphosed in the thermodynamic conditions of the greenschist facies of regional metamorphism, which confirm the results of calculating the temperature of the mineral-forming environment using a chlorite thermometer: from 239 to 294 °C. One grain of the rare mineral halgenbergite-(Ce) was discovered. It is an aqueous carbonate-(Ce) $\text{Ca}(\text{Ce}, \text{La}, \text{Nd})_2(\text{CO}_3)_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, which forms acicular to rosette-like formations. Quartz-carbonate rock is composed of carbonates (calcite, dolomite), quartz, feldspars (albite, alkali feldspar), muscovite. The migration paths of the Lawrence Glacier, which moved in a southeast direction and was active during the last (Wisconsin) glaciation, were analyzed. Having compared the material composition of the rocks taken from the Laurentian Cone of Outcrop with the rocks that form the Appalachian Orogen, we came to the conclusion that the latter can be considered the original source of the rocks we studied.

Key words: Laurentian drift cone, granite, feldspar, glacial deposits, Appalachian orogen.