https://doi.org/10.15407/mineraljournal.42.04.069
УДК 551.22+552.3+549

О.В. Митрохин, д-р геол. наук, проф. Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Навчально-науковий інститут "Інститут геології"
03022, Київ, Україна, вул. Васильківська, 90
E-mail: mitrokhin.a.v@ukr.net; https://orcid.org/0000-0001-6269-0092

В.Г. Бахмутов, д-р геол. наук, проф., зав. від. Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України
03142, Київ, Україна, пр-т Акад. Палладіна, 32
Національний антарктичний науковий центр України
01016, Київ, Україна, бул. Тараса Шевченка, 16
E-mail: bakhmutovvg@gmail.com; https://orcid.org/0000-0003-3804-9953

А.Г. Алексєєнко, канд. геол. наук, мол. наук. співроб.
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Навчально-науковий інститут "Інститут геології"
03022, Київ, Україна, вул. Васильківська, 90
E-mail: scr315@gmail.com; https://orcid.org/0000-0002-4787-7542

Т.В. Митрохіна, канд. геол. наук, мол. наук. співроб.
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Навчально-науковий інститут "Інститут геології"
03022, Київ, Україна, вул. Васильківська, 90
E-mail: tanussa@ukr.net; https://orcid.org/0000-0001-9116-9837

ПЕТРОЛОГІЯ ГАБРОЇДІВ ОСТРОВІВ АНАГРАМ (АРХІПЕЛАГ ВІЛЬГЕЛЬМА, ЗАХІДНА АНТАРКТИКА)

Острови Анаграм розташовані в акваторії Берега Греяма Західної Антарктики, неподалік від Української антарктичної станції "Академік Вернадський". В основному вони складаються габроїдами, імовірно крейдяного віку. Нові дані про умови залягання габроїдів Анаграм та притаманну їм розшарованість були отримані у 2017, 2019, 2020 рр. під час сезонних робіт Українських антарктичних експедицій. Зібрані геологічні зразки досліджено з використанням оптичної мікроскопії, електронної мікроскопії та електронномікрозондового аналізу, а також методів вивчення анізотропії магнітної сприйнятливості гірських порід. Метою досліджень було уточнення геологічної позиції та петрографічних особливостей габроїдів Анаграм, визначення типоморфних ознак їхніх породоутворювальних мінералів, з'ясування походження розшарованості габроїдів. Автори виявили, що на островах Анаграм фрагментарно відслонюється придонна частина великої розшарованої габроїдної інтрузії. Продовження цієї інтрузії припускається у північно-східному та південно-східному напрямках. З'ясовано, що, незважаючи на розвиток метаморфічної амфіболізації, у габроїдах зберігаються первинно-магматичні особливості будови та мінерального складу. Вони виявляють типові кумулятивні структури магматичного походження. Головними кумулятивними фазами є плагіоклаз ($An_{70–95}$), клінопіроксен ($Wo_{41–49}En_{34–47}$), ортопіроксен ($Wo_{2–4}En_{49–71}$), олівін ($Fo_{67–69}$), титаномагнетит та ільменіт. Доведено, що тонка ритмічно-градаційна шаруватість габроїдів зумовлена гравітаційним осадженням кумулятивних мінералів на дно магматичної камери та їх сортуванням за густиною під дією придонних конвекційних течій. Прихована розшарованість, яка була вперше виявлена у габроїдах Анаграм, пов'язується з процесами кристалізаційної диференціації. Їх наслідком стало нагромадження найбільш кальцієвих плагіоклазів і найбільш магнезіальних мафічних мінералів у роз-

Цитування: Митрохин О.В., Бахмутов В.Г., Алексєєнко А.Г., Митрохіна Т.В. Петрологія габроїдів островів Анаграм (архіпелаг Вільгельма, Західна Антарктика). *Мінерал. журн.* 2020. 42, № 4. С. 69—83. https://doi.org/10.15407/mineraljournal.42.04.069

шарованих габроїдах придонної частини інтрузії. Нинішнє субвертикальне залягання шаруватості пояснюється тектонічними деформаціями, які призвели до перекидання досліджуваної частини розрізу габроїдної інтрузії Анаграм. Ці висновки підтверджено результатами дослідження магнітної текстури габроїдів.

Ключові слова: *петрологія, габроїди, розшаровані інтрузії, Західна Антарктика.*

Вступ. Острови Анаграм — невелика острівна група в акваторії Берега Греяма Антарктичного півострова. Разом з іншими островами та острівними групами, їх відносять до Архіпелагу Вільгельма Західної Антарктики (рис. 1). До цього ж архіпелагу належать й Аргентинські острови і, зокрема, о. Галіндез, на якому розташована Українська антарктична станція "Академік Вернадський" (УАС). Найбільший у групі Анаграм — о. Ноб, знаходиться близько п'яти км на північний захід від УАС. На відміну від Аргентинських островів, складених мезозойськими вулканітами та палеогеновими гранітоїдами, на островах Анаграм відслонюються габроїди. Своєрідні особливості залягання розшарованих габроїдів Анаграм та походження їхньої шаруватості свого часу викликали жваву дискусію, яку висвітлено у *Bulletin of British Antarctic Survey* за 1964 р. [8]. Зазначені спірні питання так і залишилися відкритими. Під час сезонних робіт 22-ї, 24-ї та 25-ї Українських антарктичних експедицій був отриманий новий фактичний матеріал щодо габроїдів Анаграм. Результати його подальшої обробки та інтерпретації лягли в основу даної публікації.

Метою досліджень було уточнення геологічної позиції та петрографічних особливостей габроїдів Анаграм, визначення типоморфних ознак породоутворювальних мінералів, з'ясування походження шаруватості габроїдів.

Огляд попередніх досліджень. Список літератури, що стосується геології та петрографії островів Анаграм, містить лише дві публікації [7, 8]. Обидві написані на матеріалах геологічної зйомки, що виконувалась *Falkland Islands Dependencies Survey* у районі бази *F* на Аргентинських островах у 1959—1961 рр. Д.Х. Елліот (1964) дослідив лише два зразки габроїдів з островів Анаграм. Один із них отримав найменування *"роговообманкове габро"*. Інший, який, судячи з наведеного мінерального складу, був представлений амфіболізованим габроноритом, отримав помилкове найменування "*кварцовий норит*". А.Г. Фрейзер (1964), який здійснював польові дослідження на островах Анаграм під час антарктичного літа 1960—1961 рр., першим описав розшарованість габроїдів, звернувши увагу на їх субвертикальне залягання. Відхиляючи можливість тектонічного перекидання, цей дослідник вважав, що вертикальне залягання шаруватості у габроїдах Анаграм є первинним. Походження шаруватої текстури А.Г. Фрейзер пов'язував з явищами, що супроводжують рух частково закристалізованої магми. Своєрідні особливості досліджуваної шаруватості пояснювалися вкоріненням кількох порцій магми, що відбувалося за короткий проміжок часу та супроводжувалось пульсаційним зменшенням тиску між послідовними інтрузивними фазами. За результатами виконаних петрографічних досліджень А.Г. Фрейзер розрізняв серед габроїдів Анаграм *олівінові габро, гіперстенові габро, роговообманкові габро та кварцові габро*. Окрім островів Анаграм, розшаровані габроїди описані у ряді інших місць району Української антарктичної станції, зокрема на островах Пітерман, Ведель, Берселот та на мисі Туксен [1, 2, 4, 9]. За аналогією з петрографічно подібними габроїдами мису Туксен [3], можна припустити крейдяний вік і для габроїдів з островів Анаграм.

Фактичний матеріал і методологія досліджень. В основу даної публікації покладені матеріали геологічної зйомки островів Анаграм, виконаної О.В. Митрохиним та В.Г. Бахмутовим у три етапи: у квітні 2017 р., у лютому 2019 р. та у лютому 2020 р. За даними польових спостережень та результатами дешифрування наявних космознімків було побудовано схематичну геологічну карту, на яку винесені поля розвитку габроїдів та елементи їх залягання на ділянках розвитку шаруватих текстур (рис. 2). Зразки для мінералого-петрографічних досліджень відібрано вздовж умовного профілю, починаючи від розшарованих габроїдів на північному узбережжі о. Ноб у напрямку на південний схід через виходи масивних габроїдів на його східному узбережжі аж до островів Анаграм-II та Анаграм-I включно.

Мінералого-петрографічні дослідження зібраних зразків гірських порід виконано в ННІ "Інститут геології" Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Прозорі петрографічні шліфи досліджувала Т.В. Митрохіна на поляризаційному мікроскопі ПОЛАМ-РП-1. Окрім оптичної мікроскопії, для визна-

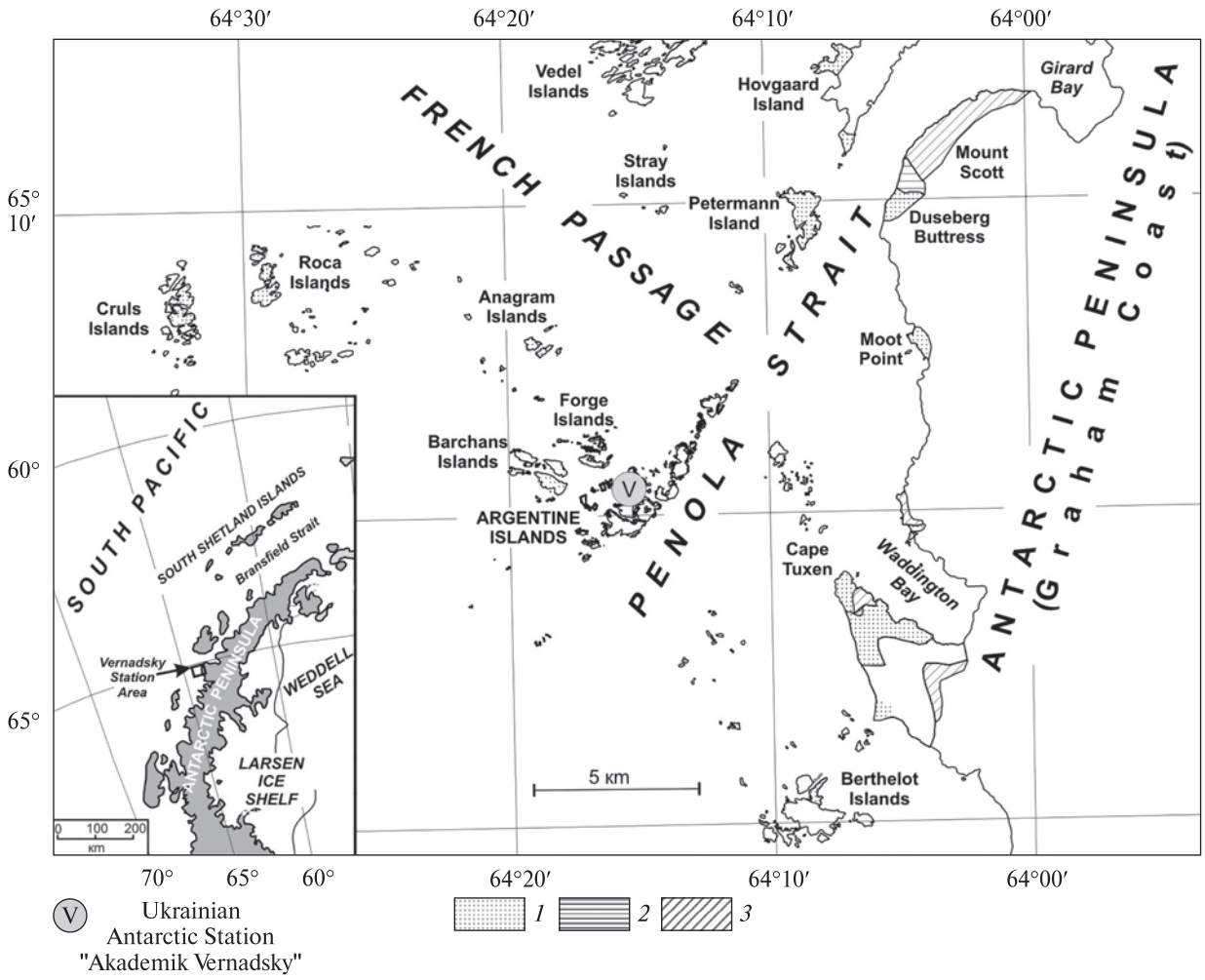

Рис. 1. Геологічна будова архіпелагу Вільгельма та прилеглого узбережжя Антарктичного півострова. Схематична карта складена, за матеріалами [3], з виправленнями та доповненнями авторів. *Крейдово-палеогенові інтрузивні породи*: *1* — габро, гранодіорити, граніти, тоналіти; *Юрсько-крейдяні вулканічні породи*: *2* — андезити; *3* — пірокластичні породи

Fig. 1. Geological structure of the Wilhelm Archipelago and adjacent coast of the Antarctic Peninsula. Schematic map was compiled from [3] with authors' correction and addition. *Cretaceous-Paleogene intrusive rocks*: *1* — gabbro, granodiorites, granites, tonalites; *Jurassic-Cretaceous volcanic rocks*: *2* — andesites; *3* — pyroclastic rocks

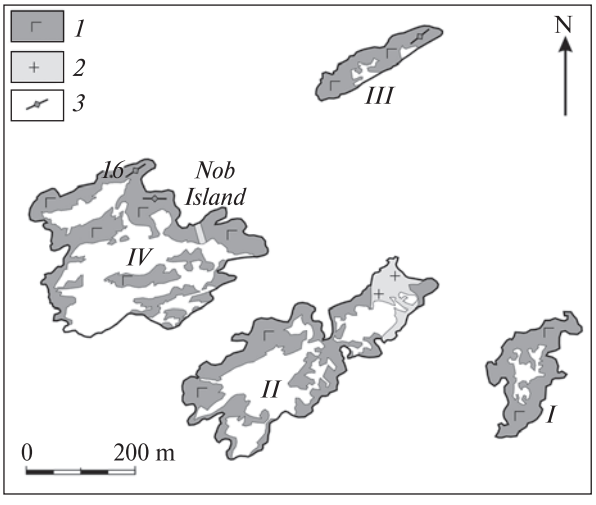

Рис. 2. Геологічна карта островів Анаграм: *1* — габроїди; *2* — гранітоїди та діорити; *3* — елементи залягання шаруватості у габроїдах. Карта складена О. Митрохиним за даними польових досліджень 2017, 2019—2020 рр. та результатами дешифрування космознімків *GoogleEarth* (дата зйомки 26.01.2004). Окрім оригінальних даних, враховані матеріали [8]

Fig. 2. Geological map of the Anagram Islands: *1* — gabbroids; *2* — granitoids and diorites; *3* — strike of the magmatic layering in gabbroids. The map was made by O. Mytrokhyn using the data of field investigation from 2017, 2019—2020 as well as the results of GoogleEarth satellite photos deciphering (date of the photographing is 26.01.2004). In addition to original data the author took into account results of the studies [8]

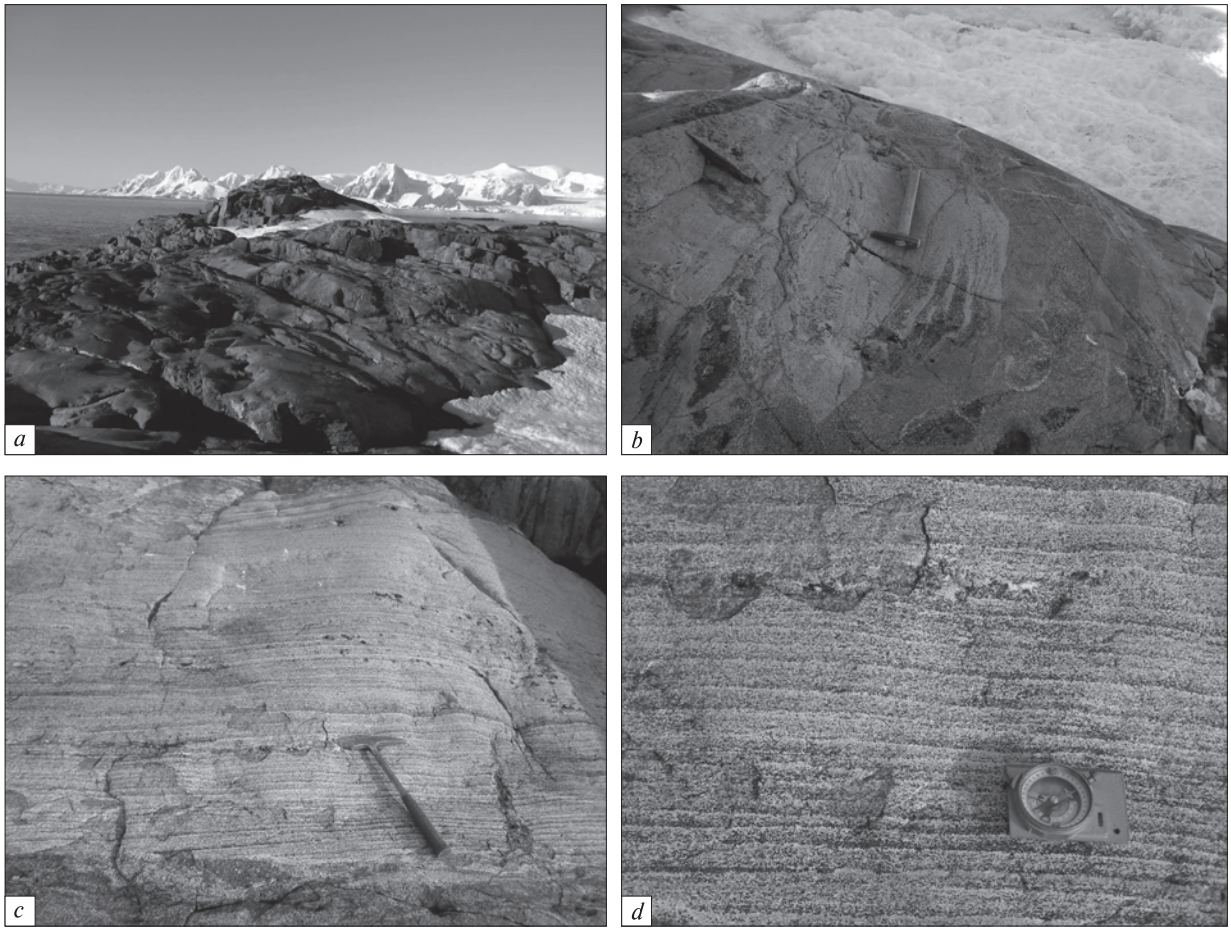

Рис. 3. Умови залягання габроїдів на островах Анаграм: *a* — протяжні виходи габроїдів у північно-західній частині о. Ноб; *b* — трогова структура з лінзоподібною шаруватістю габроїдів, о. Ноб; *c—d* — паралельна шаруватість габроїдів з ритмічно-градаційним чергуванням лейко-, мезо- та меланократових кумулятів, о. Анаграм-III

Fig. 3. Mode of occurrence of the gabbroids at the Anagram Islands: *a* — extensive outcrops of gabbroids at the northwestern part of Nob Island; *b* — trough structure with lenticular layering of gabbroids at Nob Island; *c—d* — parallel layering of gabbroids with rhythmical-gradational alternation of leucocratic, mesocratic and melanocratic cumulates at Anagram-III Island

чення хімічного складу головних породоутворювальних мінералів, а також для дослідження рудної та акцесорної мінералізації були застосовані електронна мікроскопія та електронно-мікрозондовий аналіз, аналітики — О.В. Митрохин та А.Г. Алексєєнко. Прозоро-полірованні шліфи вивчалися на растровому електронному мікроскопі-мікроаналізаторі *РЕММА-202М*, оснащеному енергодисперсійним рентгенівським спектрометром *Link systems*. Мікрофотографії шліфів зроблені на поляризаційному мікроскопі *Nikon eclipse LV100Pol* в Інституті геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М.П. Семененка НАН України.

Для вивчення анізотропії магнітної сприйнятливості (АМС) та магнітної текстури габроїдів В.Г. Бахмутов відібрав спеціальну колекцію орієнтованих зразків. Їх відбір виконано на островах Ноб та Анаграм-II в межах відслонень масивних габроїдів, де будь-яких проявів розшарованості візуально не розрізняли. Виміри АМС у відібраних зразках габроїдів виконували на містку змінного струму *MFK-1B* в Інституті геофізики імені С.І. Субботіна НАН України. Методику визначення АМС у зразках гірських порід описано в [10].

Умови залягання габроїдів Анаграм. Габроїди поширені на усіх чотирьох великих островах з групи Анаграм (рис. 2), а Ноб та Анаграм-III майже повністю складені габроїдами. У більшості відслонень габроїди мають масивну текстуру. Розшаровані ж габроїди утворюють локальну смугу, що поширюється через увесь о. Анаграм-III та північну частину о. Ноб. Горизонтальна потужність смуги розшарованих габроїдів складає 200 м. Її протяжність, з ура-

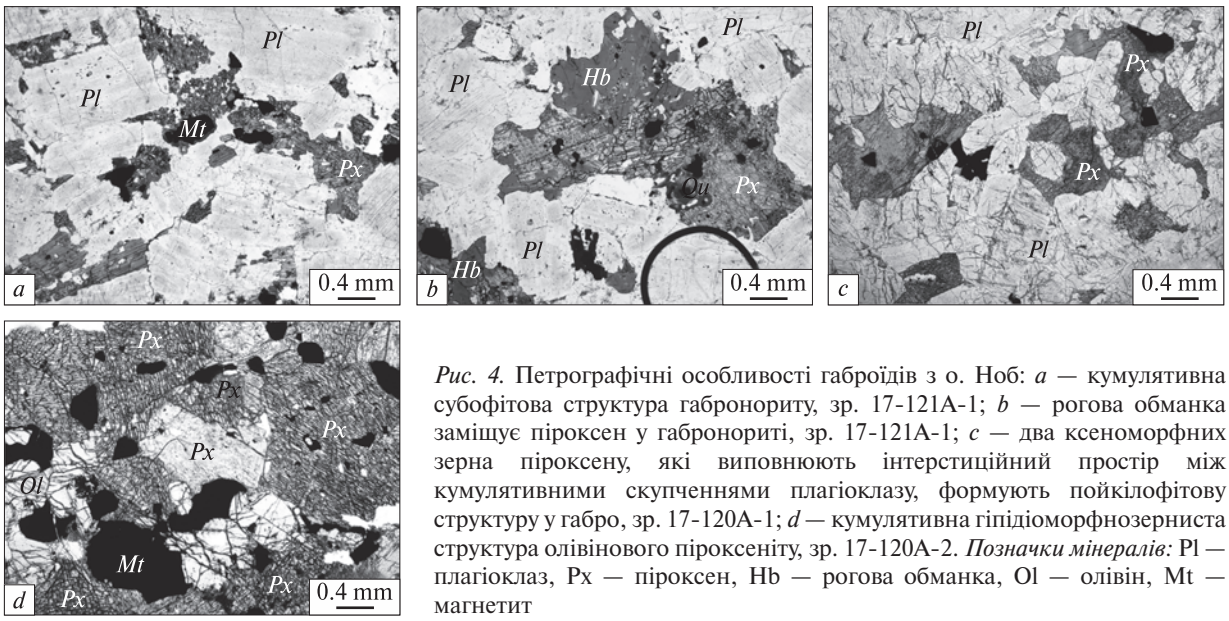

Рис. 4. Петрографічні особливості габроїдів з о. Ноб: *a* — кумулятивна субофітова структура габронориту, зр. 17-121А-1; *b* — рогова обманка заміщує піроксен у габронориті, зр. 17-121А-1; *c* — два ксеноморфних зерна піроксену, які виповнюють інтерстиційний простір між кумулятивними скупченнями плагіоклазу, формують пойкілофітову структуру у габро, зр. 17-120А-1; *d* — кумулятивна гіпідіоморфнозерниста структура олівінового піроксеніту, зр. 17-120А-2. *Позначки мінералів:* Pl — плагіоклаз, Px — піроксен, Hb — рогова обманка, Ol — олівін, Mt — магнетит

Fig. 4. Petrographic features of gabbroids from Nob Island: *a* — cumulate subophitic texture in gabbro-norite, smp 17-121A-1; *b* — hornblende replaces pyroxene in gabbro-norite, smp 17-121A-1; *c* — two anhedral grains of pyroxene filling interstitial space between cumulate aggregation of plagioclase form poikilophytic texture in gabbro, smp 17-120A-1; *d* — cumulate hypidiomorphic texture in olivine pyroxenite, smp 17-120A-2. *Symbols of minerals:* Pl — plagioclase, Px — pyroxene, Hb — hornblende, Ol — olivine, Mt — magnetite

хуванням імовірної затопленої частини, повинна перевищувати 1 км. Зазначена смуга має північно-східне простягання, що узгоджується з простяганням шаруватості у габроїдах. У північній частині о. Ноб виходи розшарованих габроїдів утворюють майже суцільне відслонення, яке розпочинається на місцевому пагорбі з найвищою абсолютною відміткою 16 м, продовжуючись уздовж лінії узбережжя на південний захід та частково углиб острова. Петрографічне різноманіття порід варіює від домінуючих мезократових габро до лейкогабро, анортозитів та ультрамафітів. Елементарні прошарки потужністю 1—10 см об'єднуються у ще більш потужні шари. Шаруватість залягає субвертикально з простяганням на північний схід Апр = 56°. Окрім звичайної паралельної шаруватості, спостерігається також лінзоподібна та скісна шаруватість, трогові структури та "синеклізи", які дають змогу визначити відносне положення покрівлі та підошви шарів (рис. 3). Центральна та південно-східна частини о. Ноб складені масивними мезократовими габроїдами. У районі примітної бухти на східному узбережжі відслонюється контакт масивних габроїдів з гранітоїдами. Гранітоїди, вочевидь, утворюють у габроїдах жилоподібне інтрузивне тіло, потужністю біля 35 м, яке простежується у південно-східному напрямку до наступної бухти на відстані близько 100 м. Контакт гранітоїдів з габроїдами різкий, нахилений під габроїди, Апд = 256°, кут 40°. Наявність у гранітоїдах ксенолітів габроїдів, а також спостережувані апофізи гранітоїдів у габроїдах, свідчать про давніший вік габроїдів. І габроїди, і гранітоїди перетинаються найпізнішими жилками аплітів.

Мінералого-петрографічні особливості габроїдів Анаграм. ***Масивні габроїди.*** Згідно з сучасною класифікацією, габроїди, які складають більшу частину островів Анаграм, визначаються як амфіболізовані габронорити та габро. Це темно-сірі явнокристалічні породи з рівномірною середньозернистою структурою. Їх текстура має масивний вигляд, хоча на деяких відслоненнях все ж таки можна виявити ледь помітну субпаралельну орієнтацією таблитчастих зерен плагіоклазу. Подекуди габроїди можуть підлягати метаморфічним перетворенням, що проявляються у появі катакластичної тріщинуватості та розвитку навколотріщинних змін. На таких ділянках самі габроїди світлішають, їх плагіоклази тьмяніють, втрачаючи скляний блиск, а темніші скупчення мафічних мінералів набувають зеленкуватого відтінку.

У шліфах найменш метаморфізовані габроїди характеризуються повнокристалічною гіпідіоморфнозернистою субофітовою структурою

(рис. 4). Плагіоклаз, який звичайно складає більшу частину від об'єму породи, проявляє ідіоморфізм до мафічних мінералів. У деяких зразках, які візуально здавалися масивними, у ході мікроскопічного вивчення зерна плагіоклазу демонструють більш-менш виявлену плоскопаралельну орієнтацію. Таку ж орієнтацію можуть мати й інші мінерали, зокрема ті, що передували у порядку кристалізації даної породи. Зерна піроксенів виявляють тенденцію до формування агрегатних скупчень. Вважається, що перелічені особливості будови віддзеркалюють процеси нагромадження кристалічного осаду у магматичному розплаві і дають підстави ідентифікувати первинну кумулятивну будову габроїдів. Усі досліджені зразки різною мірою підлягають метаморфічній амфіболізації, що ускладнює визначення їх первинного складу та будови. Ще одним проявом метаморфізму є пластичні деформації та незначне катакластичне дроблення плагіоклазів.

Головними породоутворювальними мінералами найменш метаморфізованих різновидів масивних габроїдів є кальцієвий плагіоклаз, моноклінний та ромбічний піроксени, а також звичайна рогова обманка. Крім них, завжди присутня певна кількість Fe-Ti оксидно-рудних мінералів, біотиту та кварцу. Акцесорна мінералізація представлена апатитом, цирконом, піритом та халькопіритом.

Плагіоклаз утворює ідіоморфні таблитчасті зерна розміром 2—4 мм. У схрещених ніколях вони виявляють двійникову будову та зональне згасання. За великого збільшення у прохідному світлі помітно, що внутрішні частини зерен плагіоклазу насичені мікроскопічними включеннями непрозорих мінералів, імовірно — Fe-Ti оксидів. Останні мають голчасту форму та орієнтуються паралельно до певних кристалографічних напрямків у плагіоклазі, що свідчить про їхнє ексолюційне походження. У тонких зовнішніх оболонках плагіоклазових зерен ексолюційні включення поступово зникають. За даними мікрозондового аналізу, внутрішні частини зерен плагіоклазу мають склад бітовніту $An_{70—79}$, на периферії ж основність зменшується до олігоклазу $An_{28—30}$ (табл. 1). Вочевидь, внутрішні частини зерен є кумулятивною фазою, тобто кристалічним осадом, що осаджувався з розплаву у процесі його застигання. Зовнішні ж частини утворилися за рахунок доростання кумулятивної фази у процесі кристалізації інтерстиційного розплаву.

Таблиця 1. **Вибіркові результати мікрозондового аналізу плагіоклазів з габроїдів Анаграм**
Table 1. **Selected electron microprobe analyses of the plagioclases from the Anagram gabbroids**

Smp	17-120A-1 — Layered gabbro						17-121A-1 — Massive gabbro-norites					
Point	4	8	13	19	22	23	1	2	4	11	14	15
Weight percents, %												
SiO_2	48.78	51.12	45.99	45.11	54.74	52.88	53.72	48.84	48.86	51.01	59.77	55.92
Al_2O_3	32.45	30.73	33.85	34.79	28.68	29.83	29.27	32.78	33.09	31.8	25.41	28.33
FeO_{tot}	0.24	0.35	0.31	0.28	0.3	0.27	0.81	0.23	0.21	0.24	0.42	0.51
CaO	16.79	14.29	18.73	19.23	11.03	13.26	10.19	14.75	15.51	12.95	5.88	8.77
Na_2O	1.68	3.27	1.04	0.57	5.08	3.67	5.52	3.09	2.08	3.7	8.17	6.11
K_2O	0.06	0.23	0.08	0.03	0.16	0.08	0.49	0.31	0.25	0.31	0.35	0.36
Formula units on 8 atoms of oxygen												
K	0.003	0.013	0.004	0.002	0.009	0.004	0.028	0.018	0.015	0.018	0.02	0.021
Na	0.149	0.289	0.093	0.051	0.445	0.322	0.485	0.274	0.184	0.326	0.707	0.533
Ca	0.823	0.698	0.927	0.952	0.533	0.644	0.495	0.723	0.759	0.63	0.281	0.423
Si	2.233	2.33	2.124	2.084	2.47	2.396	2.436	2.235	2.231	2.317	2.668	2.515
Al	1.751	1.651	1.843	1.895	1.525	1.593	1.564	1.768	1.781	1.703	1.336	1.502
Fe	0.009	0.013	0.012	0.011	0.011	0.01	0.031	0.009	0.008	0.009	0.016	0.019
Sum	4.968	4.994	5.003	4.995	4.993	4.969	5.039	5.027	4.978	5.003	5.028	5.013
Compounds, %												
Or	0.3	1.3	0.4	0.2	0.9	0.4	2.8	1.8	1.6	1.8	2	2.1
Ab	15.3	28.9	9.1	5.1	45.1	33.2	48.1	27	19.2	33.5	70.1	54.6
An	84.4	69.8	90.5	94.7	54	66.4	49.1	71.2	79.2	64.7	27.9	43.3

Піроксен представлений моноклінним і ромбічним різновидами. За даними мікрозондового аналізу, клінопіроксен має склад саліту $Wo_{46-49}En_{34-36}$. Для ортопіроксену визначений гіперстеновий склад $Wo_{2-3}En_{49-52}$ (табл. 2, 3). Первинна форма піроксенових зерен змінюється від субідіоморфної стовбчастої до ксеноморфної. Вочевидь, субідіоморфні зерна піроксенів являють кумулятивну фазу, а ксеноморфні формувалися у наслідок кристалізації інтерстиційного розплаву. У процесі амфіболізації формуються кородовані зерна клінопіроксену, які частково або повністю включені всередину більших індивідів рогової обманки (рис. 4). Розмір зерен піроксену не часто перевищує 2—3 мм, тобто є трохи меншим, ніж у плагіоклазу. Подібно до останнього, всередині піроксенів спостерігаються екслюційні мікровключення Fe-Ti оксидів. Окрім них, деякі зерна піроксенів містять чисельні пойкілітові включення ідіоморфних мікрокристалів титаномагнетиту.

Рогова обманка є найбільш характерним представником групи амфіболів у габроїдах островів Анаграм. У прохідному світлі вона забарвлена у коричнево-зелений колір та помітно плеохроює. Її зерна, як правило, мають неправильну дещо видовжену форму. Зазвичай вони утворюють агрегатні скупчення по декілька індивідів. У багатьох місцях видно, що рогова обманка частково або повністю заміщує піроксени, подекуди утворюючи повні псевдоморфози. Частіше ж всередині її індивідів присутні кородовані релікти клінопіроксену. Разом з ними рогова обманка може містити численніші пойкілітові включення титаномагнетиту, плагіоклазу та апатиту, що надають їй ситоподібну структуру. Крім рогової обманки, можуть бути присутніми променисті амфіболи. Від рогової обманки вони відрізняються бліднішим забарвленням, або взагалі є безбарвними. Променисті агрегати таких амфіболів можуть заміщати як піроксени, так і рогову обманку, тобто є найбільш низькотемпературними серед цих мінералів. Мікрозондовий аналіз допомагає ідентифікувати променисті амфіболи як помірно магнезіальний актиноліт з підвищеним вмістом хлору.

Таблиця 2. **Вибіркові результати мікрозондового аналізу клінопіроксенів із габроїдів Анаграм**
Table 2. **Selected electron microprobe analyses of the clinopyroxenes from the Anagram gabbroids**

Smp	17-120A-1 — Layered gabbro					17-121A-1 — Massive gabbro-norites				
Point	28	29	32	36	40	72	73	74	75	76
Weight percents, %										
SiO_2	50.71	48.97	50.84	51.05	49.77	49.47	50.03	48.56	48.89	49.08
TiO_2	0.47	0.59	0.33	0.23	0.42	—	—	0.04	—	—
Al_2O_3	2.58	4.01	2.34	1.61	2.47	2.03	1.79	1.8	2.09	2.08
FeO_{tot}	8.95	9.07	8.31	8.82	8.61	10.7	10.71	12.2	11.14	11.14
MnO	—	—	—	—	—	0.49	0.55	0.37	0.35	0.48
MgO	16	15.58	16.82	15.67	14.54	13.13	12.36	13.08	13.01	12.92
CaO	21.29	21.78	20.41	22.62	23.93	24.18	24.55	23.94	24.52	24.3
Formula units on 8 atoms of oxygen										
Ca	0.851	0.875	0.814	0.907	0.966	0.988	1.003	0.986	1.006	0.996
Mg	0.89	0.871	0.934	0.875	0.817	0.746	0.702	0.75	0.742	0.737
Mn	—	—	—	—	—	0.016	0.018	0.012	0.011	0.016
Fe^{+2}	0.279	0.284	0.259	0.276	0.271	0.341	0.342	0.392	0.357	0.356
Ti	0.013	0.017	0.009	0.007	0.012	—	—	0.001	—	—
Al	0.113	0.177	0.102	0.071	0.11	0.091	0.081	0.082	0.094	0.094
Si	1.892	1.836	1.893	1.911	1.874	1.886	1.907	1.867	1.871	1.877
Sum	4.038	4.06	4.08	4.047	4.069	4.068	4.053	4.09	4.081	4.076
Compounds, %										
Wo	42.1	43.1	40.6	44.1	47	47.3	48.6	46.1	47.5	47.3
En	44.1	42.9	46.5	42.5	39.8	35.7	34	35	35.1	35
Fs	13.8	14	12.9	13.4	13.2	17.1	17.4	18.9	17.4	17.7

Fe-Ti оксидно-рудні мінерали представлені титаномагнетитом та кількісно підпорядкованим ільменітом. Титаномагнетит утворює зерна двох морфологічних типів.

Перший тип — дрібні ідіоморфні кристали титаномагнетиту розміром 0,2—0,4 мм, які зазвичай пойкілітово включені у мафічні мінерали і, напевно, є кумулятивними фазами. До другого типу належать ксеноморфні зерна титаномагнетиту розміром 0,5—1,5 мм, що кристалізуються у проміжках породоутворювальних мінералів. У ряді Fe-Ti оксидів цей титаномагнетит кристалізувався останнім, про що свідчать його морфологічні співвідношення з раніше утвореними зернами ільменіту. На межі з силікатами ксеноморфні виокремлення титаномагнетиту звичайно оточені переривчастими реакційними каймами біотиту. Під електронним мікроскопом обидва морфотипи титаномагнетиту виявляють характерні структури розпаду — численні пластинчасті включення ільменіту, орієнтовані у двох або трьох кристалографічних напрямках. Мікрозондовий аналіз фіксує у магнетитовій матриці доволі невисокий вміст TiO_2, який відповідає лише 1—3 % ульвошпінелевого міналу. Це може свідчити про тривале охолодження та невисокі температури кінцевого розпаду. Натомість, виявлені підвищені концентрації V_2O_3 — 0,7—0,9 % можуть вказувати на підвищену фугітивність кисню під час кристалізації. Ільменіт, окрім вже згаданих ексолюційних пластин у структурах розпаду титаномагнетиту, також може утворювати поодинокі самостійні зерна розміром до 1 мм. Місцями вони виявляють явний ідіоморфізм по відношенню до магнетиту. За даними мікрозондового аналізу, такі ільменіти характеризуються відносно невисоким вмістом гематитового міналу — 4—8 % *Hm*.

Апатит утворює стовбчасті кристали розміром до 0,3—0,4 мм, які приурочені до скупчень мафічних мінералів. Разом з плагіоклазом він є найбільш раннім кумулятивним мінералом. Окрім ідіоморфізму кристалів, на це вказує плоскопаралельна орієнтація багатьох кристалів апатиту, яка збігається з орієнтацією плагіоклазу. Згідно з вимірами на мікрозондовому аналізаторі, апатити в габроїдах Анаграм містять помітну кількість хлору.

Таблиця 3. **Вибіркові результати мікрозондового аналізу ортопіроксенів з гірських порід Анаграм**
Table 3. **Selected electron microprobe analyses of the orthopyroxenes from the Anagram rocks**

Smp	17-120A-2 Pyroxenite (ultramafic cumulate of layered gabbro)					17-121A-1 Massive gabbro-norites				
Point	38	40	43	45	46	79	80	81	84	85
Weight percents, %										
SiO_2	49.84	49.18	49.5	50.16	49.87	49.75	49.47	49.24	48.7	49.2
TiO_2	0.37	0.14	0.4	0.17	0.27	0.05	0.14	0.04	0.08	—
Al_2O_3	1.77	1.82	1.81	2.06	2.11	1.43	1.65	1.69	1.25	1.97
FeO_{tot}	19.15	19.68	18.73	17.67	17.5	27.84	28.65	28.52	30.16	28.51
MnO	0.45	0.8	0.56	0.8	0.64	1.28	1.11	1.16	1.64	0.94
MgO	26.86	27.44	27.74	28.08	28.15	18.68	17.98	17.74	17.39	18.33
CaO	1.56	0.93	1.26	1.06	1.46	0.98	1	1.61	0.79	1.06
Formula units on 8 atoms of oxygen										
Ca	0.062	0.037	0.05	0.042	0.058	0.041	0.041	0.067	0.033	0.044
Mg	1.488	1.526	1.535	1.544	1.549	1.076	1.039	1.027	1.016	1.058
Mn	0.014	0.025	0.018	0.025	0.02	0.042	0.036	0.038	0.054	0.031
Fe^{+2}	0.595	0.614	0.581	0.545	0.54	0.899	0.928	0.926	0.988	0.923
Ti	0.01	0.004	0.011	0.005	0.008	0.001	0.004	0.001	0.002	—
Al	0.078	0.08	0.079	0.09	0.092	0.065	0.075	0.077	0.058	0.09
Si	1.852	1.835	1.837	1.85	1.84	1.921	1.917	1.912	1.908	1.905
Sum	4.099	4.121	4.111	4.101	4.107	4.045	4.04	4.048	4.059	4.051
Compounds, %										
Wo	2.9	1.7	2.3	1.9	2.7	2	2	3.3	1.6	2.1
En	68.9	69.3	70.3	71.6	71.5	52.3	50.8	49.9	48.6	51.5
Fs	28.2	29	27.4	26.4	25.8	45.7	47.2	46.8	49.8	46.4

Циркон у габроїдах діагностований за допомогою електронного мікроскопа-мікроаналізатора. Він утворює ідіоморфні мікрокристали розміром до 380 мікрон, які асоціюють з мафічними мінералами та кварцом. Може формувати своєрідні нарости на титаномагнетиті. Деяким зернам циркону притаманна орієнтація, згідна із загальною плоскопаралельною текстурою габроїду. Навіть у найменш змінених габроїдах присутня невелика кількість біотиту та кварцу. Біотит представлений червоно-коричневим титанистим різновидом, що демонструє різкий плеохроїзм у прохідному світлі. Звичайно він кристалізується у формі дрібних лускуватих зерен, що утворюють реакційні кайми навколо Fe-Ti оксидно-рудних мінералів, особливо на контактах з плагіоклазом. Місцями біотит зазнає часткової хлоритизації, що супроводжується виокремленням лейкоксену. Кварц трапляється у вигляді невеликих ксеноморфних зерен, що тяжіють до проміжків між кристалами плагіоклазу. Подібно до плагіоклазу він вміщує мікрокристалічні голчасті включення непрозорих мінералів, які не мають закономірної орієнтації. У найбільш метаморфізованих різновидах габроїдів суттєво зростає вміст амфіболів, особливо — актиноліту, але набагато зменшується вміст моноклінного піроксену. Ромбічний піроксен зникає повністю. Натомість з'являються серицит, пренніт, кліноцоїзит, епідот, хлорит та сфен.

Розшаровані габроїди та ультрамафіти. Добре виявлена шарувата текстура властива для габроїдів, що відслонюються на північно-західному узбережжі о. Ноб та майже повністю складають о. Анаграм-III. Характер шаруватості на різних ділянках може змінюватись. Найхарактернішою є паралельна шаруватість модального типу з ритмічно-градаційним чергуванням прошарків (рис. 3). У ній елементарні прошарки характеризуються витриманою за простяганням потужністю від 1—2 до 8—10 см. Кожний такий прошарок складається габроїдами, які виявляють доволі суттєві варіації у кількісних співвідношеннях плагіоклазів і мафічних мінералів із поступовими переходами між меланократовими, мезократовими та лейкократовими кумулятами. Відносно різка підошва елементарного прошарку ідентифікується за суттєвим збагаченням мафічними мінералами аж до утворення меланократових або, навіть, ультрамафічних кумулатів. У напрямі вірогідної покрівлі прошарку вміст мафічних мінералів поступово зменшується за рахунок збільшення вмісту плагіоклазу. За такої умови зазвичай поступово збільшується зернистість породи. У результаті біля покрівлі кожного елементарного прошарку формується відносно крупнозернистий лейкократовий кумулят, що має суттєво плагіоклазовий склад аж до утворення анортозиту. Далі знову маємо різку границю з наступним елементарним прошарком, у межах якого зазначена картина закономірно повторюється. Незважаючи на субвертикальне залягання, описуваний характер шаруватості у загальному випадку дає підставу визначити взаємне розташування покрівлі та підошви габроїдного тіла. Але ретельне обстеження усієї смуги відслонень виявляє, що виходи габроїдів з паралельною ритмічно-градаційною шаруватістю не мають суцільного поширення. На багатьох ділянках цей "простий" тип шаруватості ускладнюється своєрідними складками та троговими структурами, а також іншими ознаками сковзання та розмиву кристалічного осаду під час застигання магматичної камери. Складки мають форму невеликих "синекліз" або складнішу морфологію. Їх протяжність звичайно не перевищує кількох метрів. Потужності елементарних шарів поступово збільшуються у напрямі замкової частини складки, що має вказувати на те, що такі "синеклізи" формувалися під час накопичення кристалічного осаду у магматичному розплаві. Трогові структури, на відміну від замкнутих складок-синекліз, мають форму протяжних та звивистих жолобів, повністю виповнених шаруватими габроїдами. У багатьох місцях видно, як шаруватість у таких трогах та синеклізах частково розмивається з нагромадженням на поверхні розмиву нової пачки шаруватих габроїдів. Такі ділянки з косою та перехресною шаруватістю також дають можливість визначати положення підошви та покрівлі габроїдного тіла.

Петрографічні особливості розшарованих габроїдів багато у чому є подібними до виявлених у масивних габроїдах. Але є й принципові відмінності. Так, розшаровані габроїди демонструють значно більші варіації у кількісних співвідношеннях плагіоклазу та мафічних мінералів. Як вже згадувалось, окрім мезократових різновидів тут наявні лейкократові, меланократові та ультрамафічні кумуляти. У більшості зразків розшарованих габроїдів помітно зменшується роль ортопіроксену. Олівінові га-

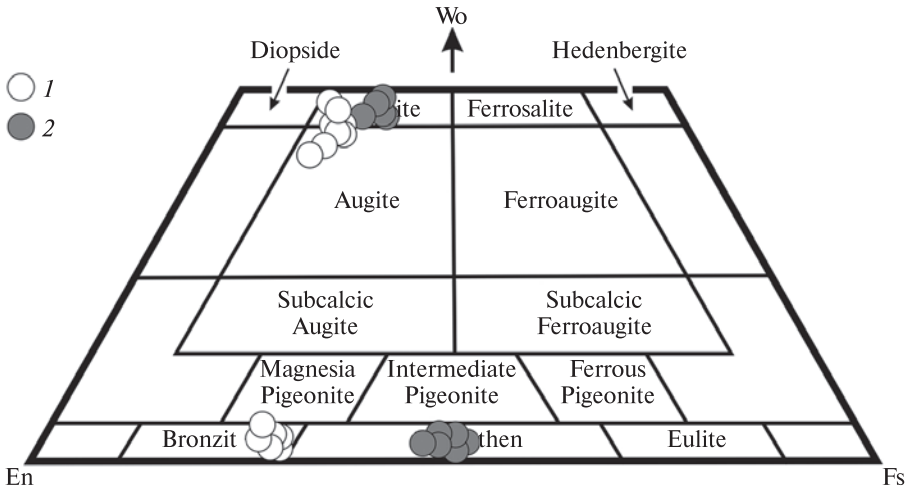

Рис. 5. Хімічний склад піроксенів з гірських порід островів Анаграм: *1* — з розшарованих габроїдів та ультрамафітів; *2* — з масивних габроїдів. *Мінали: Wo* — воластоніт, *En* — енстатит, *Fs* — феросиліт

Fig. 5. Chemical composition of pyroxenes from the Anagram Islands rocks: *1* — from layered gabbroids and ultramafites; *2* — from massif gabbroids. *Minals: Wo* — wollastonite, *En* — enstatite, *Fs* — ferrosilite

бро, про які згадано у [8], у авторських зразках не виявлені. Але є зразки амфіболових габро, які містять вірогідні продукти заміщення олівіну. Окрім того, один з досліджуваних ультрамафічних кумулятів виявився олівіновим піроксенітом — вебстеритом (рис. 4). Водночас, саме він характеризувався максимальною концентрацією Fe-Ti оксидно-рудних мінералів. У шліфах зразки розшарованих габроїдів демонструють додаткові особливості кумулятивної будови, які не були виявлені у масивних габроїдах. Це, зокрема, пойкілофітова структура, яка проявляється у появі великих, 3—5 мм, ксеноморфних індивідів амфіболу або амфіболізованого піроксену, які містять ідіоморфні включення плагіоклазу. У лейкократових габроїдах плагіоклаз, до того ж, виявляє тенденцію до формування агрегатних скупчень з алотріоморфною структурою — адкумулятів. Склад плагіоклазу в них стає основнішим, ніж у масивних габроїдах, сягаючи анортитового у ядрах An_{90-95} та лабрадорового An_{54-70} в зовнішніх оболонках зерен. З основнішим складом плагіоклазів корелює й склад піроксенів. У шаруватих габроїдах та ультрамафітах клінопіроксени є більш магнезіальними, але менш кальцієвими $Wo_{41-46}En_{40-47}$, порівняно з клінопіроксенами з масивних габроїдів. Таку ж тенденцію виявляють і ортопіроксени, які в ультрамафічних кумулятах є більш магнезіальними $Wo_{2-4}En_{69-71}$, порівняно з ортопірокенами з масивних габроїдів (рис. 5). Склад олівіну в ультрамафітах відповідає Fo_{67-69}. Отже, окрім макроскопічної шаруватості, габроїдам Анаграм властива й прихована розшарованість, яка проявляється у закономірній зміні мінерального складу порід та хімічного складу породоутворювальних мінералів внаслідок переходу від розшарованих габроїдів до масивних. Зауважимо, що зазначене явище прихованої розшарованості в габроїдах району УАС зафіксоване вперше.

Анізотропія магнітної сприйнятливості та магнітна текстура габроїдів Анаграм. Важливу інформацію про розшарованість габроїдів Анаграм дають дослідження анізотропії магнітної сприйнятливості (АМС), які виконувалося у спеціально відібраних орієнтованих зразках гірських порід. Загалом, під АМС гірської породи звичайно розуміють мінливість її магнітної сприйнятливості у залежності від напрямку. Подібно до традиційного структурного аналізу, де для опису анізотропії деформованого стану геологічних тіл застосовують еліпсоїд деформацій, у характеристиці магнітної анізотропії гірських порід також використовують геометричну модель — еліпсоїд АМС. У застосуванні до магматичних утворень, дослідження АМС дають змогу визначати так звану *магнітну текстуру* у зразках масивних гірських порід, отриманих у ході опробування зовнішньо ізотропних інтрузивних тіл [10].

Габроїди Анаграм належать до сильномагнітних порід, що обумовлено відносно великим вмістом Fe-Ti оксидно-рудних мінералів, серед яких переважає титаномагнетит з малим вмістом TiO_2. Їх магнітна сприйнятливість дорівнює 0,06—0,12 *SI* (у середньому 0,08 *SI*, рис. 6, *а*), що є типовими величинами для габроїдів цього району [5]. Основний внесок у магнітну сприйнятливість вносять багатодоменні зерна магнетиту. Внеском парамагнітної складової в загальну магнітну сприйнятливість порід можна знехтувати та очікувати, що по-

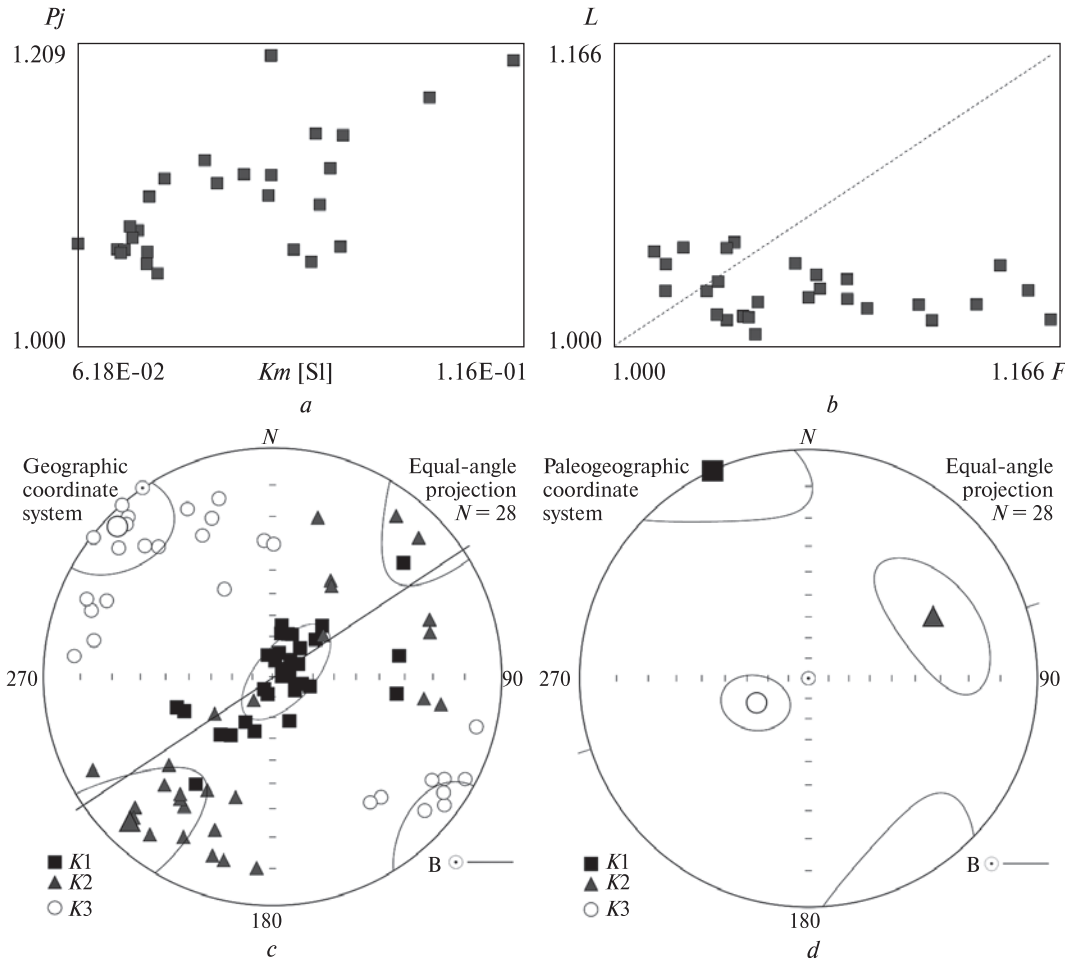

Рис. 6. Магнітні параметри та напрямки головних осей анізотропії магнітної сприйнятливості зразків габроїдів о. Анаграм: *a* — діаграма співвідношення магнітної сприйнятливості *Km* та ступеня анізотропії *Pj*; *b* — діаграма співвідношення площинності (*F*) і лінійності (*L*) (діаграма Фліна); *c* — напрямки головних осей еліпсоїдів АМС (анізотропії магнітної сприйнятливості) подані на стереографічній проекції (географічна система координат) у вигляді максимальних *K*1 (квадрати), середніх *K*2 (трикутники) та мінімальних *K*3 (кола) осей зразків з розрахованими середніми напрямками тензору АМС (збільшені символи) та їхніми 95 % овалами довіри, пряма лінія відповідає простяганню шаруватості; *d* — середні значення напрямків головних осей еліпсоїдів АМС у палеогеографічній системі координат з 95 % овалами довіри. Параметри приведені відповідно до [10], розрахунки виконані за програмою *Anisoft* 5.1. *N* — кількість зразків

Fig. 6. Magnetic parameters and magnetic susceptibility directional data of the gabbro samples of gabbroids of Anagram Island: *a* — magnetic susceptibility *Km* versus the degree of anisotropy *Pj*; *b* — foliation *F* versus lineation *L* (Flynn diagram); *c* — the directions of the maximum (*K*1, squares), intermediate (*K*2, triangles) and minimum (*K*3, circles) axes of the AMS (favorable magnetic anisotropy) ellipsoids on a stereographic projection (geographic coordinate system) in the form of maximum *K*1 (squares) with calculated average directions of the AMS mean tensor with 95 % confidence ovals, the line corresponds to strike direction; *d* — AMS mean tensor with 95 % confidence ovals in paleogeographic coordinate system. The parameters are given by [10], the calculations are performed using the program Anisoft 5.1. *N* — number of specimens

роди, які після кристалізації не були піддані деформаціям, будуть характеризуватися магнітною текстурою, створеною під час процесів кристалізації магми. Характерними рисами такої текстури мають бути: відносно низька ступінь АМС (<10 %); варіації форми еліпсоїдів АМС від сплюсненої (площинної, *F*) до витягнутої (лінійної, *L*) в залежності від локального характеру потоку магми; магнітне шарування паралельно площині магматичного потоку, а магнітна лінійність паралельна до напрямку потоку; магнітне шарування може бути крутим у місцях, де магма вкорінювалась вертикально, або косим чи горизонтальним де магма рухалась у складніший спосіб; магнітна лінійність може бути вертикальною, горизонтальною або косою відповідно до місцевого напрямку потоку магми та ін. [6]. Але в цілому магнітна

текстура порід зазвичай демонструє тісний зв'язок із формою інтрузивних тіл і структурних елементів, якщо вони спостерігаються.

Параметри, що характеризують АМС габроїдів островів Анаграм-II і Анаграм-IV, представлені на рис. 6. Параметр анізотропії Pj = = 1,1, тобто відношення максимальної осі еліпсоїда $K1$ до мінімальної осі $K3$ у середньому дорівнює 10 % (рис. 6, *a*). Переважають зразки з площинною формою еліпсоїдів АМС, хоча в деяких проявляється лінійність (рис. 6, *b*). На стереографічній проекції напрямки максимальних осей еліпсоїдів $K1$ групуються близько до вертикалі, але в деяких зразках відхиляються від останньої на 40—50°. Проміжні ($K2$) та мінімальні ($K3$) осі еліпсоїдів групуються (з досить великим розкидом) навколо середніх значень у субгоризонтальній площині, але їх також можна чітко розділити по групах (рис. 6, *c*). На цій же проекції пряма лінія відповідає простяганню субвертикальної шаруватості, яка у північній частині о. Ноб має північно-східне простягання.

Обговорення результатів та висновки. Отримані результати дають можливість зробити висновки про геологічну позицію габроїдів Анаграм, особливості їх формування та походження розшарованості.

Умови залягання та структурно-текстурні особливості досліджуваних гірських порід вказують на те, що на островах Анаграм відслонюється фрагмент розшарованої габроїдної інтрузії. Її горизонтальні розміри мають бути значно більшими, ніж закартована площа відслонень габроїдів, яка складає 132 500 м^2. Про це свідчать петрографічні особливості гірських порід, які мали сформуватися в процесі повільного застигання значного об'єму базитового розплаву. Зокрема, це — розвиток магматичної розшарованості (тонкої ритмічно-градаційної та масштабнішої прихованої), значна диференційованість мінерального складу габроїдів, а також суттєві варіації хімічного складу плагіоклазів і піроксенів.

Зважаючи на те, що площі більшості добре вивчених розшарованих габроїдних інтрузій коливаються від кількох до сотень та тисяч квадратних кілометрів [11], можна припустити, що на островах Анаграм ми маємо справу лише з невеликою (<1/10) частиною значно більшого інтрузивного тіла. Не виключено, що його продовження відслонюється на розташованих північно-східніше островах Пітерман та Ведель, де також описані розшаровані габроїди [4].

Розшарованість габроїдів Анаграм, безумовно, має магматичне походження. Натомість, цілу низку заперечень викликають уявлення [8] стосовно того, що ця розшарованість була сформована не в результаті гравітаційного або кристалізаційного фракціонування, а виключно за рахунок ламінарної течії частково закристалізованої магми. По-перше, А.Г. Фрейзер (1964) припускає, що рух магми відбувався у горизонтальному напрямі вздовж вертикального каналу. Тектонічне перекидання розрізу зазначений автор заперечує. Тоді виникає питання: як у таких умовах має формуватись ритмічно-градаційна та скісна шаруватість із субвертикальним заляганням шарів? Зазначимо, що згадані типи шаруватості добре пояснюються явищами гравітаційного осадження кристалів з магматичного розплаву та їх наступного сортування конвекційними течіями. По-друге, ламінарна течія магми має проявлятись у формуванні лінійно-паралельних текстур, які досі не виявлені. Разом з тим, досліджувані габроїди демонструють площинно-паралельні текстури, які зазвичай формуються у магматичних породах, знову ж таки, у результаті гравітаційного осадження кристалів з розплаву і у випадку непорушеного залягання мають залягати субгоризонтально. І, по-третє, прихована розшарованість, що проявляється у закономірній зміні мінерального складу порід та хімічного складу породоутворювальних мінералів внаслідок переходу від розшарованих габроїдів до масивних, добре пояснюється явищами кристалізаційного фракціонування найбільш "тугоплавких" мінеральних фаз. Натомість, механізм формування шаруватості, який запропоновано у [8], приховану розшарованість аж ніяк не пояснює.

Усі наявні геологічні та мінералого-петрографічні дані свідчать, що провідну роль у формуванні розшарованості габроїдів Анаграм відігравали процеси гравітаційного та кристалізаційного фракціонування магми. Проте за макроскопічну ритмічно-градаційну шаруватість є відповідальними гравітаційне осадження кумулятивних фаз на дно магматичної камери та їх сортування за густиною під дією придонних конвекційних течій. Існування конвекційних течій у магмі додатково підтверджується появою косої шаруватості, троговими структурами та ознаками розмиву кристаліч-

ного осаду. Первинно шаруватість у габроїдах Анаграм мала залягати субгоризонтально. Нинішнє стрімке та вертикальне залягання можна пояснити тектонічним перекиданням розрізу. Це підтверджують результати дослідження АМС габроїдів Анаграм. Теоретично, унаслідок гравітаційного осадження Fe-Ti оксидно-рудних мінералів у нижній частині магматичної камери має формуватися "осадова" магнітна текстура, для якої характерним є напрямок мінімальної осі еліпсоїда АМС перпендикулярно до площини седиментації (у нашому випадку — паралельно до дії сили тяжіння), а напрям максимальної осі — паралельно ламінарним придонним течіям (напрямкам руху магми). Під час подальших процесів кристалізації магми можуть виникати інші механізми формування АМС порід, але гравітаційне фракціонування буде залишатися основним впливовим фактором. Для нашого випадку, без урахування залягання елементів шаруватості (рис. 6, *c*), ми маємо наступну картину: напрямки максимальних осей еліпсоїдів *K*1 та середнє значення близько до вертикального, водночас як напрямки осей *K*2 та *K*3 (та їх середні значення) лежать у горизонтальній площині. Але, якщо враховувати елементи залягання шаруватості (північно-східне простягання та субвертикальне падіння) за припущення формування шаруватості у процесі гравітаційного фракціонування, та представити еліпсоїди АМС у палеогеографічній системі координат (зорієнтувати площину шаруватості горизонтально), ми отримаємо такі напрямки: мінімальна ось *K*3 — близька до вертикальної, максимальна ось *K*1 — субгоризонтальна з простяганням *NW-SE* (рис. 6, *d*). Тобто, незалежні визначення магнітної текстури масивних габроїдів Анаграм підтверджують як формування субгоризонтальної первинної шаруватості на магматичній стадії, так і подальше тектонічне перекидання розрізу в нинішнє субвертикальне положення.

Зауважимо, що польові спостереження за характером ритмічно-градаційної шаруватості дають змогу визначити відносне положення підошви та покрівлі інтрузії з загальним нарощуванням розрізу з північного заходу на південний схід. Такий висновок незалежно підтверджується результатами вивчення прихованої розшарованості габроїдів Анаграм. Феномен виникнення прихованої розшарованості пояснюється процесами кристалізаційної диференціації магми. Їх наслідком стало нагромадження найбільш кальцієвих плагіоклазів і найбільш магнезіальних піроксенів у розшарованих габроїдах, які сформувалися у придонній частині інтрузії. Наразі ж, придонна частина габроїдної інтрузії відслонюється біля північно-західного узбережжя о. Ноб і на о. Анаграм-III. Саме тут або ще далі на північний захід у тій частині інтрузії, що на сьогодні занурена нижче рівня моря, на магматичній стадії існували умови для формування донних покладів з рудною мінералізацією Ti, V, Cr, Cu, Ni, Co та елементів платинової групи.

Усі дослідження виконано за сприяння Національного антарктичного наукового центру МОН України в рамках Державної цільової науково-технічної програми проведення досліджень в Антарктиці на 2011—2020 рр.

ЛІТЕРАТУРА

1. Артеменко Г.В., Бахмутов В.Г., Самборская И.А., Бахмутова Л.Н., Шпира В.В. Магматическая расслоенность габброидов батолита Антарктического полуострова. *Укр. антаркт. журн*. 2013. № 12. С. 30—33. https://doi.org/10.33275/1727-7485.12.2013.242
2. Артеменко Г. В., Бахмутов В.Г., Самборская И.А., Бахмутова Л.Н. Расслоенная интрамагматическая дайка в интрузии анортозитов на острове Берселот (архипелаг Аргентинские острова, Западная Антарктида). *Укр. антаркт. журн*. 2015. № 14. С. 36—42. https://doi.org/10.33275/1727-7485.14.2015.167
3. Бахмутов В.Г., Гладкочуб Д.П., Шпира В.В. Возрастная позиция, геодинамическая специфика и палеомагнетизм интрузивных комплексов западного побережья Антарктического полуострова. *Геофиз. журн*. 2013. **35**, № 3. С. 3—30.
4. Митрохин О.В., Бахмутов В.Г., Гаврилів Л.І., Алєксєєнко А.Г. Геологічна будова острова Пітерман (Архіпелаг Вільгельма, Західна Антарктика). *Вісник Київ. ун-ту. Геологія*. 2018. **80**, № 1. С. 7—15. https://doi.org/10.17721/1728-2713.80.01
5. Шпыра В.В., Бахмутов В.Г., Бахмутова Л.Н., Гладкочуб Д.П., Кошелев А.В., Скарбовийчук Т.В., Якухно В.И. Магнитные и плотностные характеристики магматических пород в районе УАС Академик Вернадский. *Укр. антаркт. журн*. 2014. № 13. С. 81—93. https://doi.org/10.33275/1727-7485.13.2014.215
6. Bouchez, J.-L., Hutton, D.W.H., Stephens, W.E. (eds.). Granite: From Segregation of Melt to Emplacement Fabric. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1997. 358 p.

7. Elliot D.H. The petrology of the Argentine Islands. *British Antarctic Survey Sci. Rep*. 1964. № 41. 31 p.
8. Fraser A.G. Banded gabbros of the Anagram Islands, Graham Land. *British Antarct. Survey Bull.* 1964. **4**. P. 23—38.
9. Mytrokhyn O.V., Bakhmutov V.G., Aleksieienko A.G., Gavryliv L.I., Mytrokhina T.V. Geological position and age of Tuxene-Rasmussen layered gabbroid intrusion (West Antarctica). *Укр. антаркт. журн*. 2017. № 16. С. 21—28. https://doi.org/10.33275/1727-7485.16.2017.55
10. Tarling D.H., Hrouda F. The magnetic anisotropy of rocks. London: Chapman & Hall, 1993. 217 p.
11. Wager L.R., Brown G.M. Layered igneous rocks. London: Oliver and Boyd, 1968. 588 p.

Надійшла 28.08.2020

REFERENCES

1. Artemenko, G.V., Bakhmutov, V.G., Samborska, I.A., Bakhmutova, L.N. and Shpyra, V.V. (2013), *Ukrainian Antarctic Journ.*, No. 12, Kyiv, UA, pp. 30-33 [in Russian]. https://doi.org/10.33275/1727-7485.12.2013.242
2. Artemenko, G.V., Bakhmutov, V.G., Samborska, I.A. and Bakhmutova, L.N. (2015), *Ukrainian Antarctic Journ.,* No. 14, Kyiv, UA, pp. 36-42 [in Russian]. https://doi.org/10.33275/1727-7485.14.2015.167
3. Bakhmutov, V.G., Gladkochub, D.P. and Shpyra, V.V. (2013), *Geophys. Journ.,* Vol. 35, No. 3, Kyiv, UA, pp. 3-30 [in Russian].
4. Mytrokhyn, O.V., Bakhmutov, V.G., Gavryliv, L.I. and Aleksieienko, A.G. (2018), *Visnyk Taras Shevchenko Nat. Univ. of Kyiv. Geology,* Vol. 80, No. 1, Kyiv, UA, pp. 7-15 [in Ukrainian]. https://doi.org/10.17721/1728-2713.80.01
5. Shpyra, V.V., Bakhmutov, V.G., Bakhmutova, L.N., Gladkochub, D.P., Koshelev, A.V., Skarboviychuk, T.V. and Yakukhno, V.I. (2014), *Ukrainian Antarctic Journ.,* No. 13, Kyiv, UA, pp. 81-93 [in Russian]. https://doi.org/10.33275/1727-7485.13.2014.215
6. Bouchez, J.-L., Hutton, D.W.H. and Stephens, W.E. (eds.) (1997), *Granite: From Segregation of Melt to Emplacement Fabric,* Kluwer Academic Publishers, Dordrechtm, 358 p.
7. Elliot, D.H. (1964), *British Antarctic Survey Sci. Rep.*, No. 41, 31 p.
8. Fraser, A.G. (1964), *British Antarct. Survey Bull.,* Vol. 4, pp. 23-38.
9. Mytrokhyn, O.V., Bakhmutov, V.G., Aleksieienko, A.G., Gavryliv, L.I. and Mytrokhina, T.V. (2017), *Ukrainian Antarctic Journ.*, No. 16, Kyiv, UA, pp. 21-28. https://doi.org/10.33275/1727-7485.16.2017.55
10. Tarling, D.H. and Hrouda, F. (1993), *The magnetic anisotropy of rocks*, Chapman & Hall, London, 217 p.
11. Wager, L.R. and Brown, G.M. (1968), *Layered igneous rocks*, Oliver and Boyd, London, 588 p.

Received 28.08.2020

O.V. Mytrokhyn, DrSc (Geology), Prof.
Kyiv Taras Shevchenko National University
Educational-scientific institute "Institute of Geology"
90, Vasylkivska Str., Kyiv, Ukraine, 03022
E-mail: mitrokhin.a.v@ukr.net; https://orcid.org/0000-0001-6269-0092
V.G. Bakhmutov, DrSc (Geology), Prof., Head of Department
S.I. Subbotin Institute of Geophysics of the NAS of Ukraine
32, Acad. Palladin Ave., Kyiv, Ukraine, 03142
National Antarctic Scientific Center of Ukraine
16, Taras Schevchenko Boul., Kyiv, Ukraine, 01016
E-mail: bakhmutovvg@gmail.com; https://orcid.org/0000-0003-3804-9953
A.G. Aleksieienko, PhD (Geology), Junior Research Fellow
Kyiv Taras Shevchenko National University
Educational-scientific institute "Institute of Geology"
90, Vasylkivska Str., Kyiv, Ukraine, 03022
E-mail: scr315@gmail.com; https://orcid.org/0000-0002-4787-7542
T.V. Mytrokhina, PhD (Geology), Junior Research Fellow
Kyiv Taras Shevchenko National University
Educational-scientific institute "Institute of Geology"
90, Vasylkivska Str., Kyiv, Ukraine, 03022
E-mail: tanussa@ukr.net; https://orcid.org/0000-0001-9116-9837

THE PETROLOGY OF GABBROIDS OF THE ANAGRAM ISLANDS (WILHELM ARCHIPELAGO, WEST ANTARCTICA)

The Anagram Islands are located near the Graham Coast of West Antarctica not far from the Ukrainian Antarctic Station "Akademik Vernadsky". Gabbroids that are probably Cretaceous in age predominate in the geological structure of the Anagram Islands. New data on the mode of occurrence of the Anagram gabbroids and their layering were obtained during the seasonal field works of the Ukrainian Antarctic Expeditions in 2017, 2019—2020 years. Samples of the gabbroids were

examined by optical microscopy, electron microscopy and microprobe analysis as well as by measuring of anisotropy of magnetic susceptibility of rocks. The goal of the research was to clarify the geological position and petrographic features of the Anagram gabbroids, to determine the typomorphic features of rock-forming minerals, and to clarify the origin of the layering in gabbroids. It was determined that the bottom part of a large layered gabbroid intrusion is fragmentarily exposed on the Anagram Islands. The continuation of the intrusion is expected in the northeastern and southeastern directions. It was established that primary magmatic textures and mineral composition are preserved in the gabbroids despite the development of metamorphic amphibolization. The gabbroids show typical cumulative textures of magmatic origin. The main cumulative phases are plagioclase ($An_{70–95}$), clinopyroxene ($Wo_{41–49}En_{34–47}$), orthopyroxene ($Wo_{2–4}En_{49–71}$), olivine ($Fo_{67–69}$), Ti-magnetite and ilmenite. It is proved that the fine rhythmic-gradational layering in the gabbroids was formed by gravitational precipitation of the cumulative minerals on the bottom of the magma chamber and their further sorting by specific gravity due to convection currents. Cryptic layering is firstly discovered in the Anagram gabbroids and is explained by the processes of crystallization differentiation. The latter caused the accumulation of the most calcium plagioclases and the most magnesian mafic minerals in the layered gabbroids forming the bottom part of the intrusion. The present subvertical position of layering is explained by tectonic deformation that resulted in the tilting of the investigated section of the Anagram gabbroid intrusion. This confirmed by the studying of magnetic texture of the gabbroids (by the anisotropy of magnetic susceptibility data).

Keywords: petrology, gabbroids, layered intrusions, West Antarctica.