

Національна академія наук України
Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна

ДИСЕРТАЦІЯ

Палеомагнетизм палеопротерозойських порід коростенського анортозит-рапаківігранітного комплексу Українського щита

Спеціальність 103 – Науки про Землю
Галузь знань 10 – Природничі науки



Здобувач:

пров. інж. відділу петромагнетизму
Черкес Семен Іванович

Науковий керівник:

зав. відділу петромагнетизму,
чл.-кор. НАН України, д. геол. н., проф.
Бахмутов Володимир Георгійович

- **Актуальність роботи** обумовлена необхідністю отримання нових достовірних спільних визначень напрямків і напруженості геомагнітного поля, які адекватно описують його еволюцію протягом ранньої геологічної історії Землі, для пізнього палеопротерозою Східноєвропейської платформи – одного із ключових етапів її еволюції.

При цьому породи Українського щита відіграють ключову роль при отриманні палеомагнітної інформації для Сарматії. **Нові надійні визначення дозволять уточнити модель еволюції Східноєвропейської платформи** та обмежити/уточнити час її утворення як єдиної тектонічної структури.

- **Метою роботи** є отримання надійних палеомагнітних визначень для уточнення траєкторії позірної міграції полюса Східноєвропейської платформи та реконструкції геомагнітного поля у пізньому палеопротерозої.
- **Об'єкт дослідження** – породи коростенського анортозит-рапаківігранітного комплексу Українського щита.
- **Предмет дослідження** – палеомагнітні, петромагнітні та магнітно-мінералогічні характеристики досліджуваних порід.

Для досягнення поставленої мети необхідно було виконати наступні **завдання**:

- 1) виконати комплексні петромагнітні, магнітно-мінералогічні та мікроскопічні дослідження порід коростенського комплексу УЩ для встановлення мінералів-носіїв залишкової намагніченості;
- 2) виконати виміри параметрів анізотропії магнітної сприйнятливості досліджуваних порід, оцінити їх інформативність щодо структурного аналізу та впливу на залишкову намагніченість;
- 3) виділити компонент природної залишкової намагніченості досліджуваних порід, встановити їх генезис, розрахувати палеомагнітні напрямки та полюси, оцінити інформативність отриманих палеомагнітних визначень для палеогеографічних реконструкцій;
- 4) визначати палеонапруженість геомагнітного поля у палеопротерозої за найбільш палеомагнітно інформативними зразками, аналіз отриманих результатів;
- 5) здійснити вибірку найбільш достовірних палеомагнітних визначень для палеопротерозою СЄП із залученням нових даних;
- 6) побудувати траєкторії позірної міграції полюса СЄП та її сегментів, розрахувати кінематичні параметри для цих сегментів та виконати палеотектонічні реконструкції.

Структура дисертації:

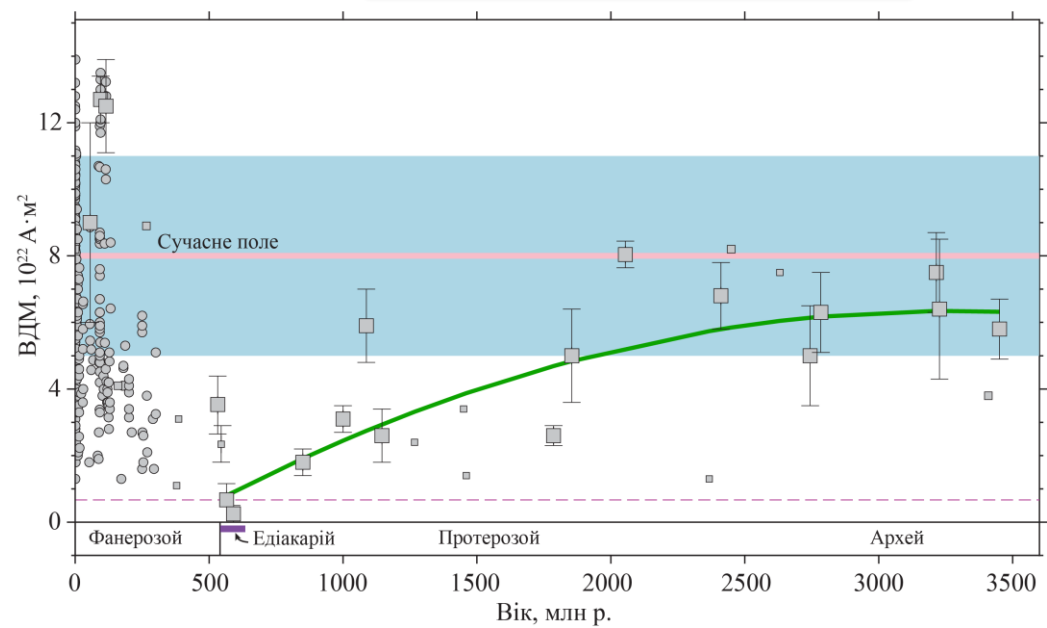
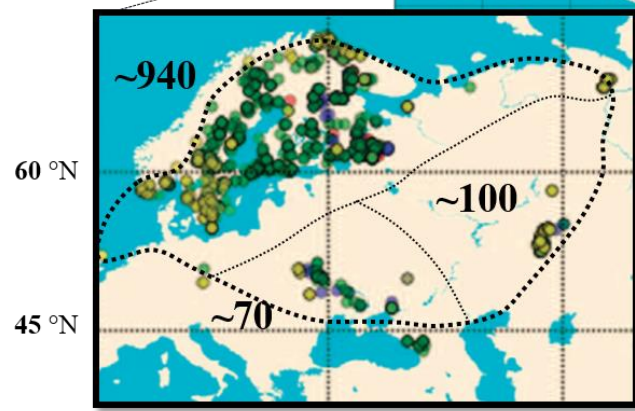
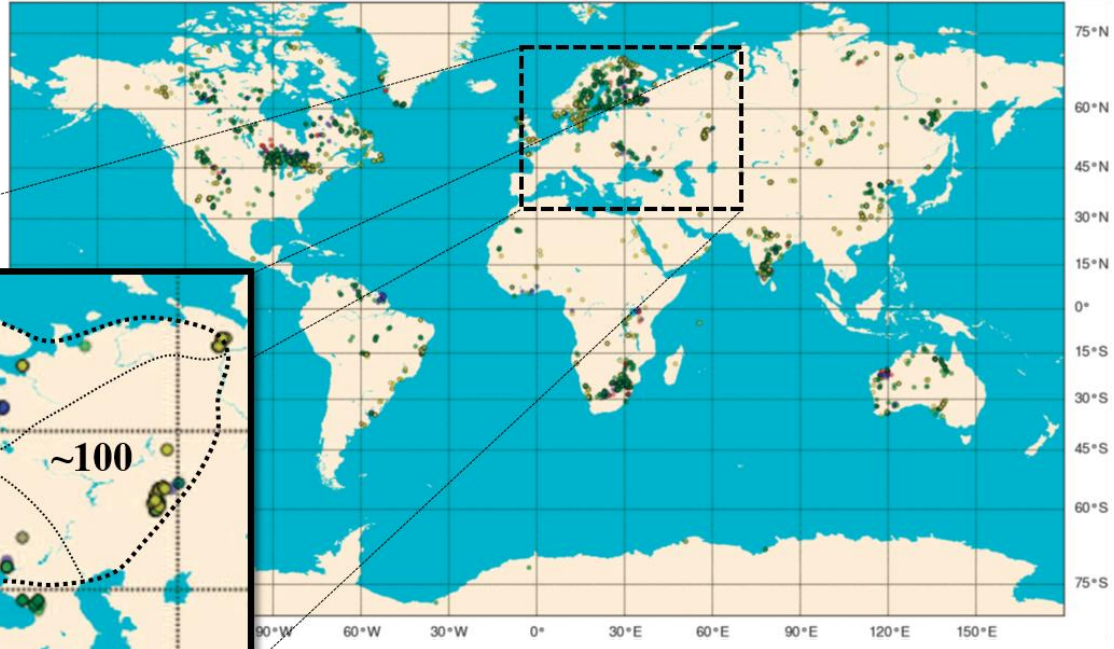
1. СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ ТА ПАЛЕОМАГНІТНА ІНФОРМАТИВНІСТЬ ДОКЕМБРІЙСЬКИХ УТВОРЕНЬ
2. ГЕОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ
3. МЕТОДИКА ПАЛЕОМАГНІТНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
4. ПЕТРОМАГНІТНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДОСЛІДЖУВАНИХ ПОРІД
5. РЕЗУЛЬТАТИ ПАЛЕОМАГНІТНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
6. ТРАЄКТОРІЯ ПОЗІРНОЇ МІГРАЦІЇ ПОЛЮСА ТА ПАЛЕОТЕКТОНІЧНА РЕКОНСТРУКЦІЯ СХІДНО-ЄВРОПЕЙСЬКОЇ ПЛАТФОРМИ У ПАЛЕОПРОТЕРОЗОЇ

Розділ 1. Проблематика

Місця відбору зразків докембрійських порід для палеомагнітних досліджень за (Veikkolainen et al., 2014).

~8500 – фанерозой
~3500 – докембрій

Ера	Визначень загалом
AR	200
PP	400
MP	2000
NP	900



Напруженість геомагнітного поля протягом геологічної історії Землі (Bono et al., 2019; Tarduno et al., 2025).

~4650 – усього
~4200 – фанерозой
~450 – докембрій

Розділ 1. Попередні дослідження


Палеомагнітні дослідження СЄП мають більше ніж 50-річну історію. Великий обсяг робіт, виконаний наприкінці минулого сторіччя співробітниками Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України Н.П. Михайловою, А.М. Глеваською, С.М. Кравченко, В.М.Цикорою та ін., які першими в Україні звернули увагу на палеомагнітну інформативність протерозойських інтрузивних порід Українського щита.



Михайлова, 1982



Михайлова и др., 1994



Tectonophysics 339 (2001) 19–38

TECTONOPHYSICS

ELSEVIER

Tectonophysics 339 (2001) 19–38

www.elsevier.com/locate/tecto

Palaeomagnetism of Proterozoic rocks from the Ukrainian Shield: new tectonic reconstructions of the Ukrainian and Fennoscandian shields

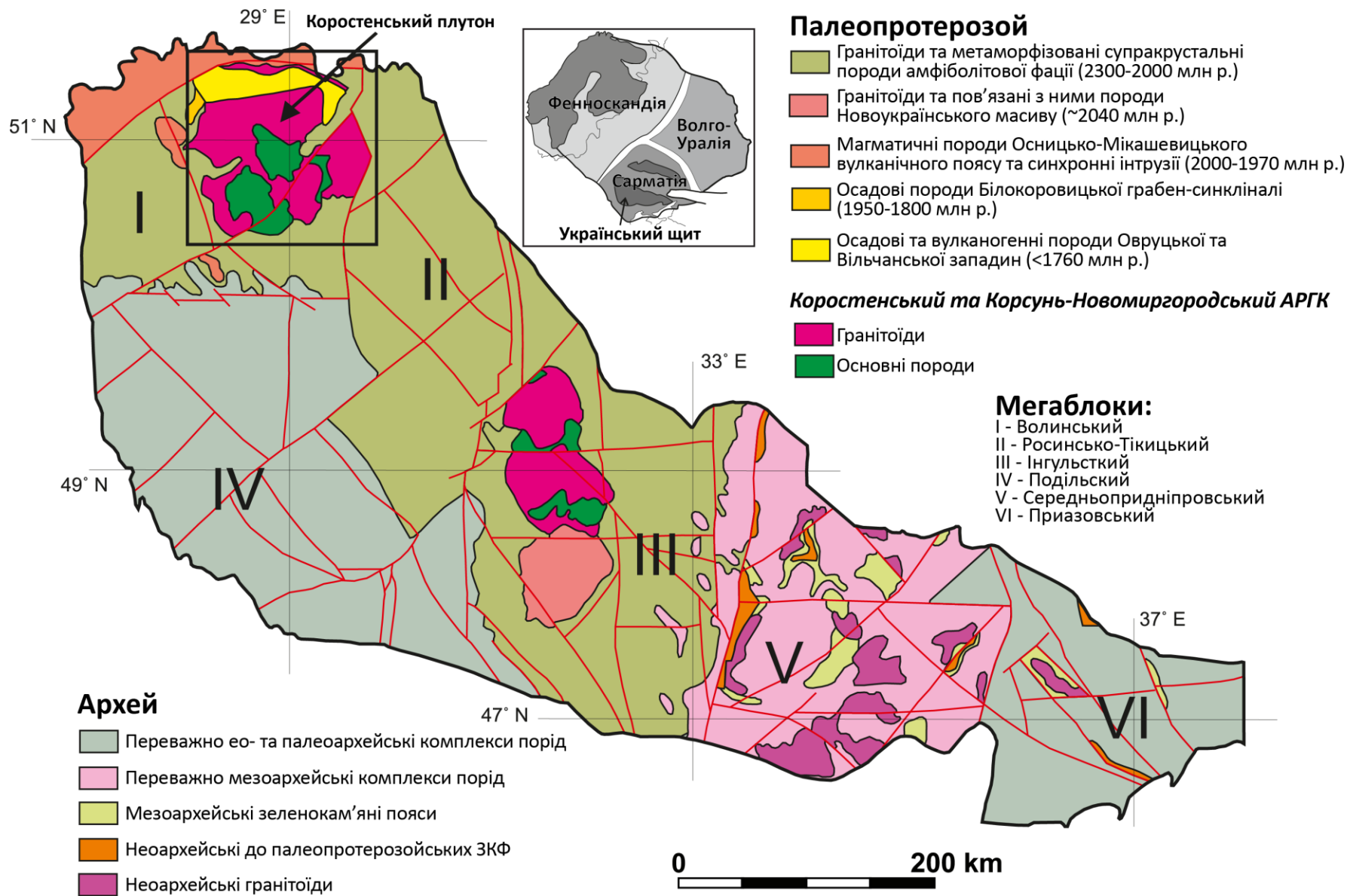
S.-Å. Elming^{a,*}, N.P. Mikhailova^{b,1}, S. Kravchenko^{b,1}

^aDepartment of Applied Geophysics, Luleå University of Technology, 97187 Luleå, Sweden

^bGeophysical Institute, Academy of Sciences of Ukraine, Kiev, Ukraine

Received 10 January 1998; revised 15 February 1999

Розділ 2. Об'єкт дослідження



Схематична геологічна карта Українського Щита. Адаптовано із (Shumlyanskyu et al., 2017)

Розділ 2. Об'єкт дослідження

Усього 21 точка відбору: 17 колекцій габроїдів, 4 — гранітоїдів.

Досліджено ~615 зразків:

~575 циліндрів та кубиків та ~40 — міні-циліндрів, у форматі порошку або шматочків.

Точка відбору № 19 (граніти)
та № 20 (діабази)



Точка відбору № 4 (анортозити)



Точка відбору № 18 (граніти)



У процесі виконання роботи було використано повний спектр петромагнітних, палеомагнітних та мікроскопічних методів дослідження:

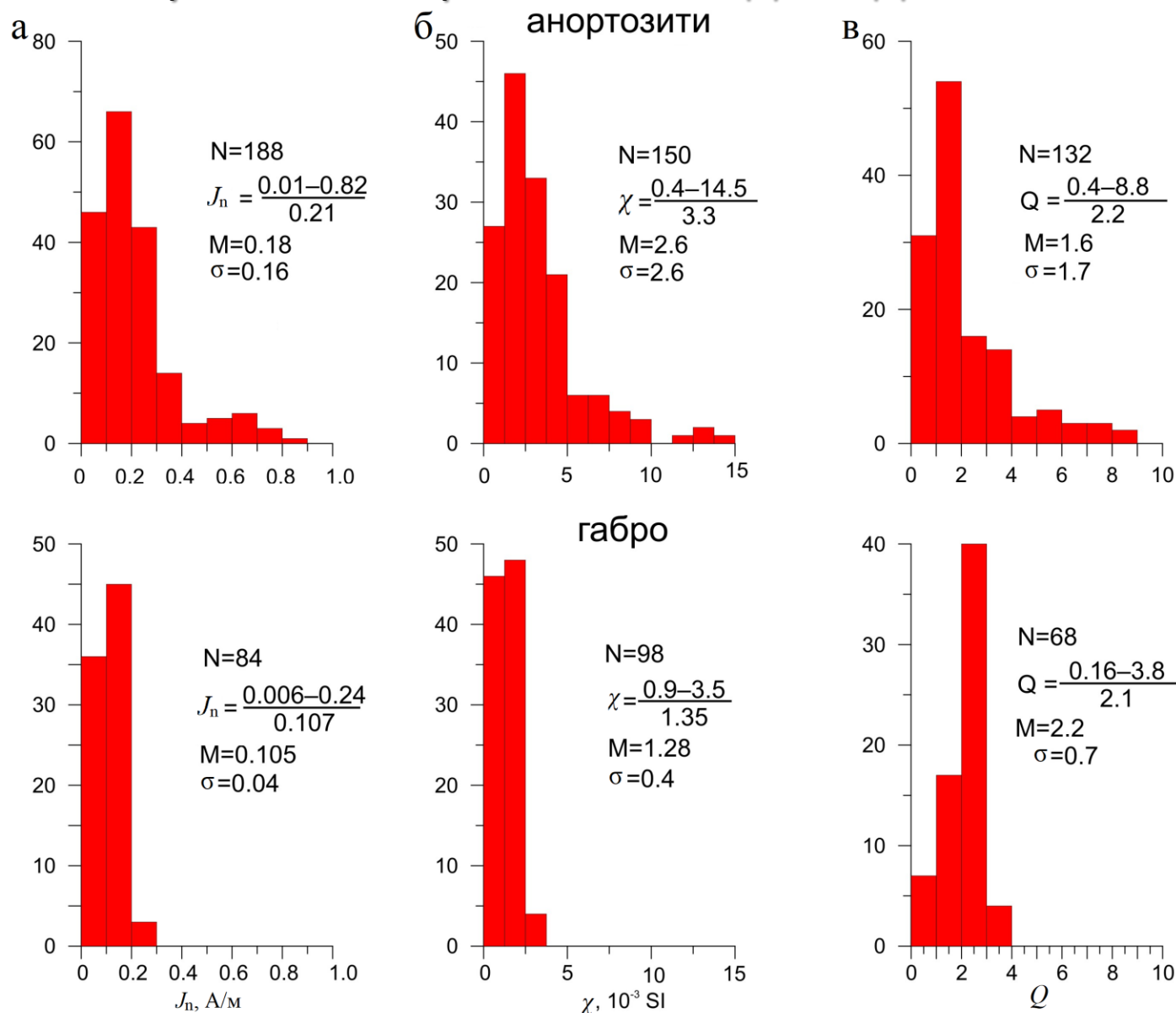
- **польові** (опис точок відбору, визначення пріоритетних ділянок відбору зразків, відбір зразків);
- **мінералогічні та мікроаналітичні** (визначення мінерального складу, встановлення геометричних та речовинні характеристики феромагнітних мінералів та їх мікроструктурних співвідношень із іншими мінералами);
- **петромагнітні та магнітно-мінералогічні** (визначення параметрів магнітної сприйнятливості та її анізотропії, намагніченості, встановлення коерцитивних та температурних залежностей – криві ізотермічної залишкової намагніченості, термомокаппаметрія, тест Лоурі);
- **палеомагнітні** (ступеневе розмагнічування зразків температурою та змінним магнітним полем, компонентний аналіз векторів намагніченості та аналіз палеомагнітних напрямків, розрахунок віртуальних палеомагнітних полюсів, процедура Тельє-Кое для визначення палеонапруженості);
- **реконструкції** (розрахунки кінематичних параметрів блоків та виконання палеотектонічних реконструкцій).

Лабораторні петромагнітні, палеомагнітні і магнітно-мінералогічні дослідження виконувалися на сучасній високоточній апаратурі:

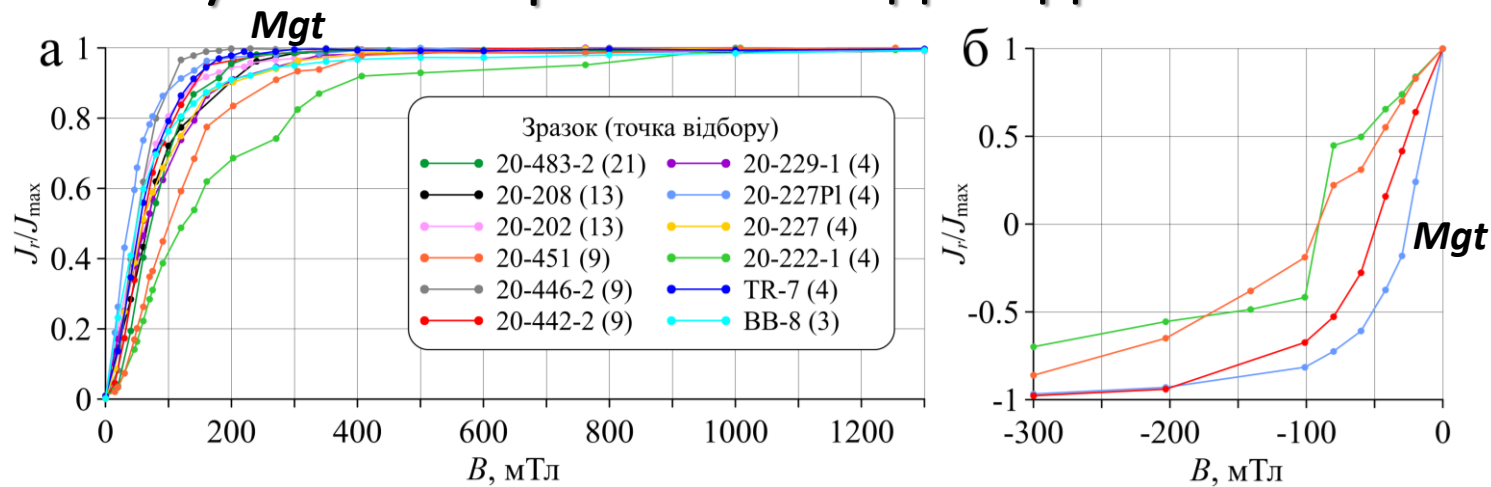
- центру колективного користування магнітометричною апаратурою при Інституті геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України (с. Демидів, Київська область)
- апаратурі Лабораторії палеомагнетизму та досліджень навколишнього середовища відділу геомагнетизму Інституту геофізики Польської академії наук (м. Варшава, Польща).

Мінералогічні та мікроаналітичні дослідження проведено на обладнанні:

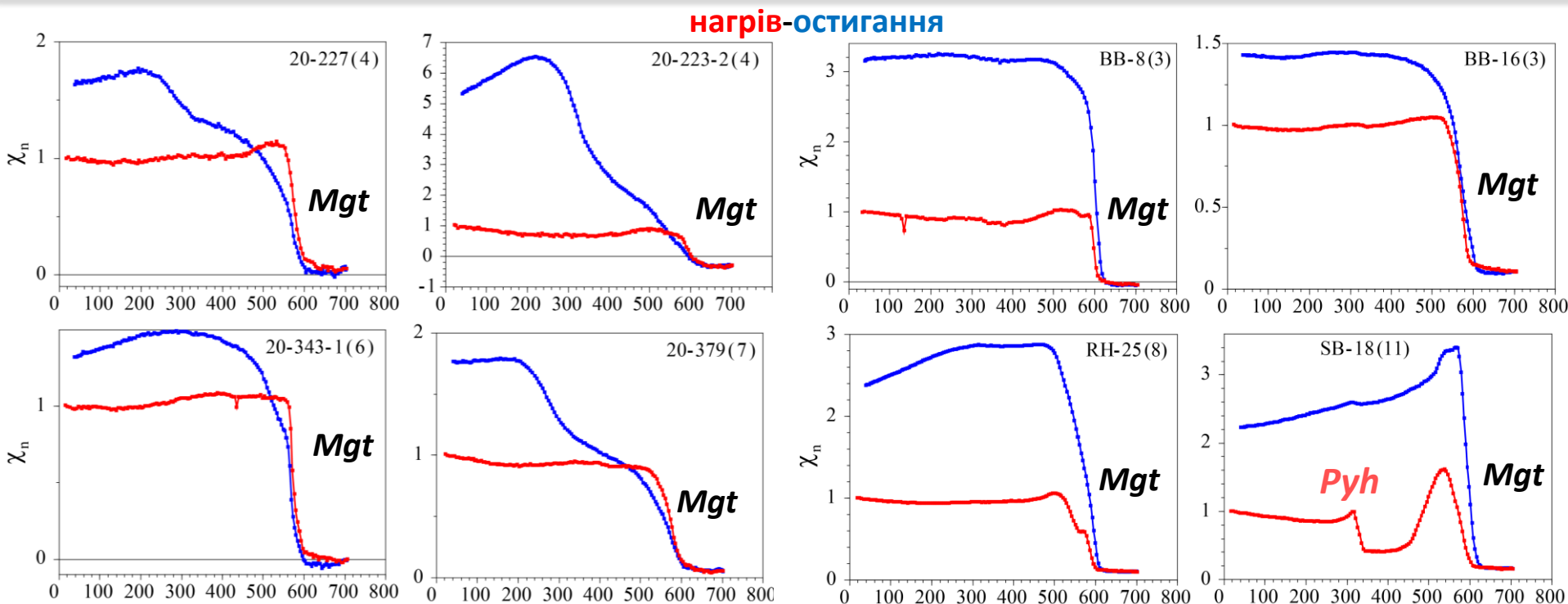
- Геологічного факультету Варшавського університету (м. Варшава, Польща)
- Лабораторної бази кафедри мінералогії, геохімії та петрографії ННІ «Інститут геології» КНУ імені Тараса Шевченка (м. Київ).



Гістограми розподілу магнітних параметрів J_n (а), χ (б) і фактора Q (в) для зразків анортозитів точок відбору № 2, 4, 6, 10, 13, 16 (зверху) і габро № 11, 13', 14, 15 (знизу) з південно-східної частини ВВМ.



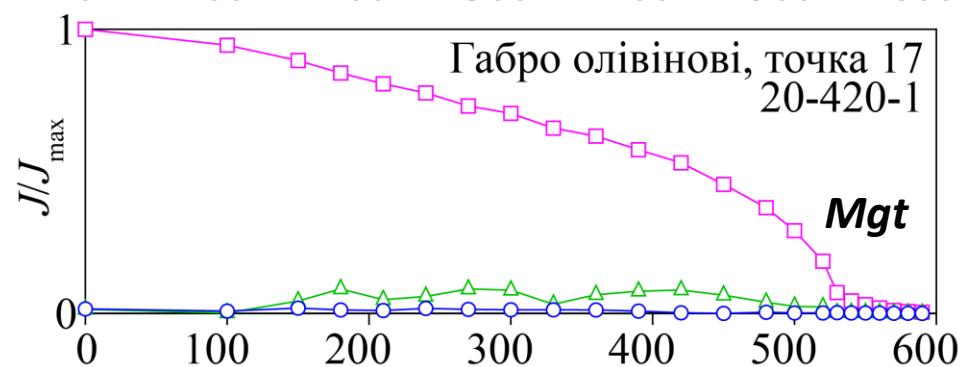
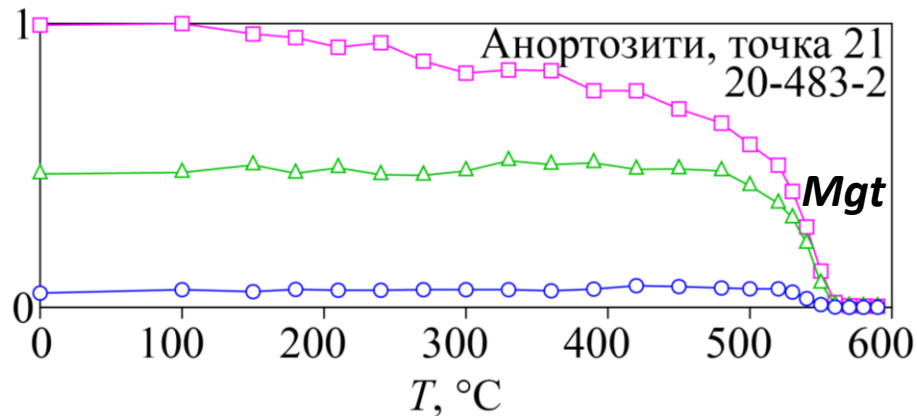
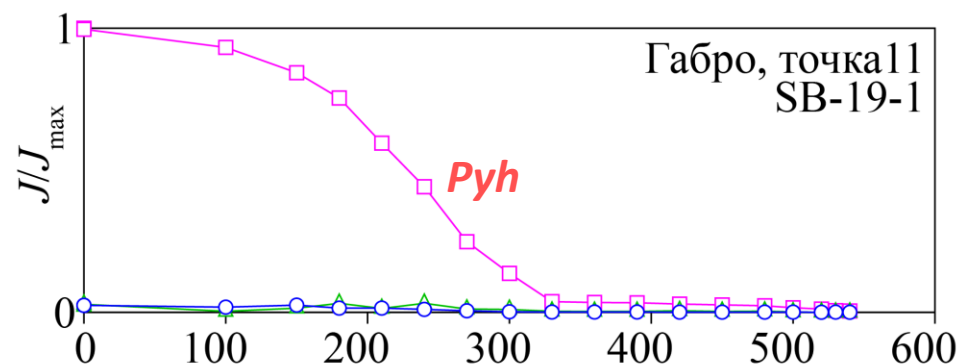
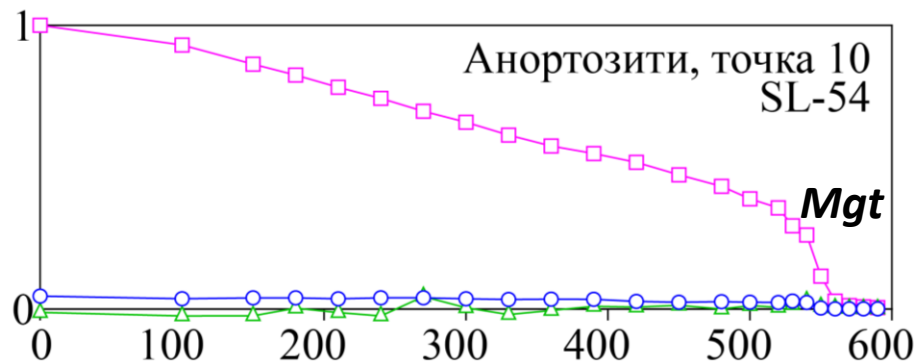
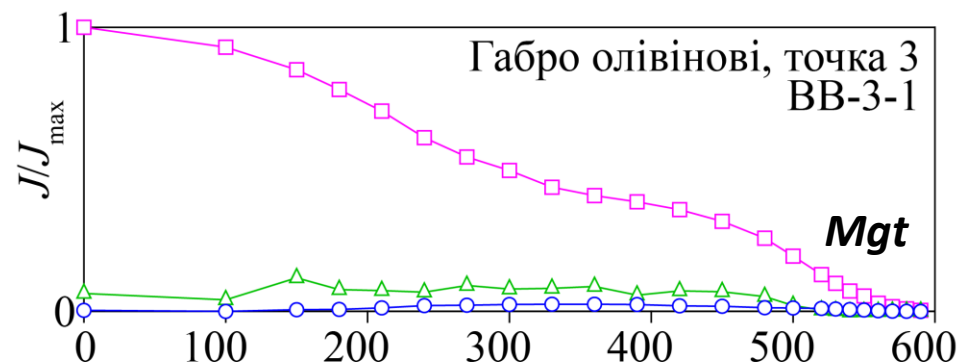
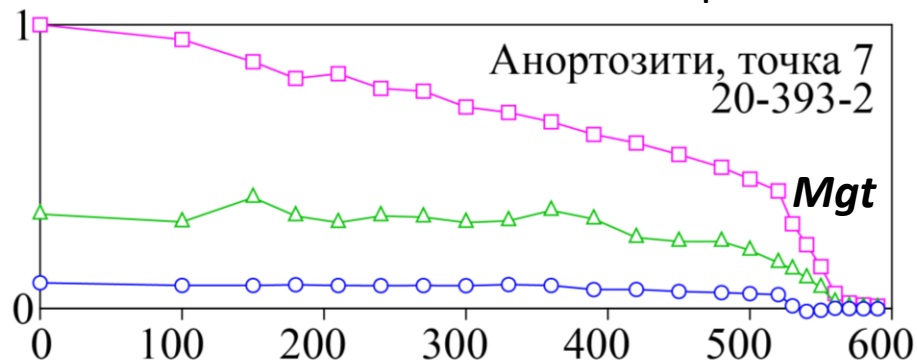
Графіки набуття J_r зразків (а) та перемагнічування J_r у оберненому магнітному полі (б).



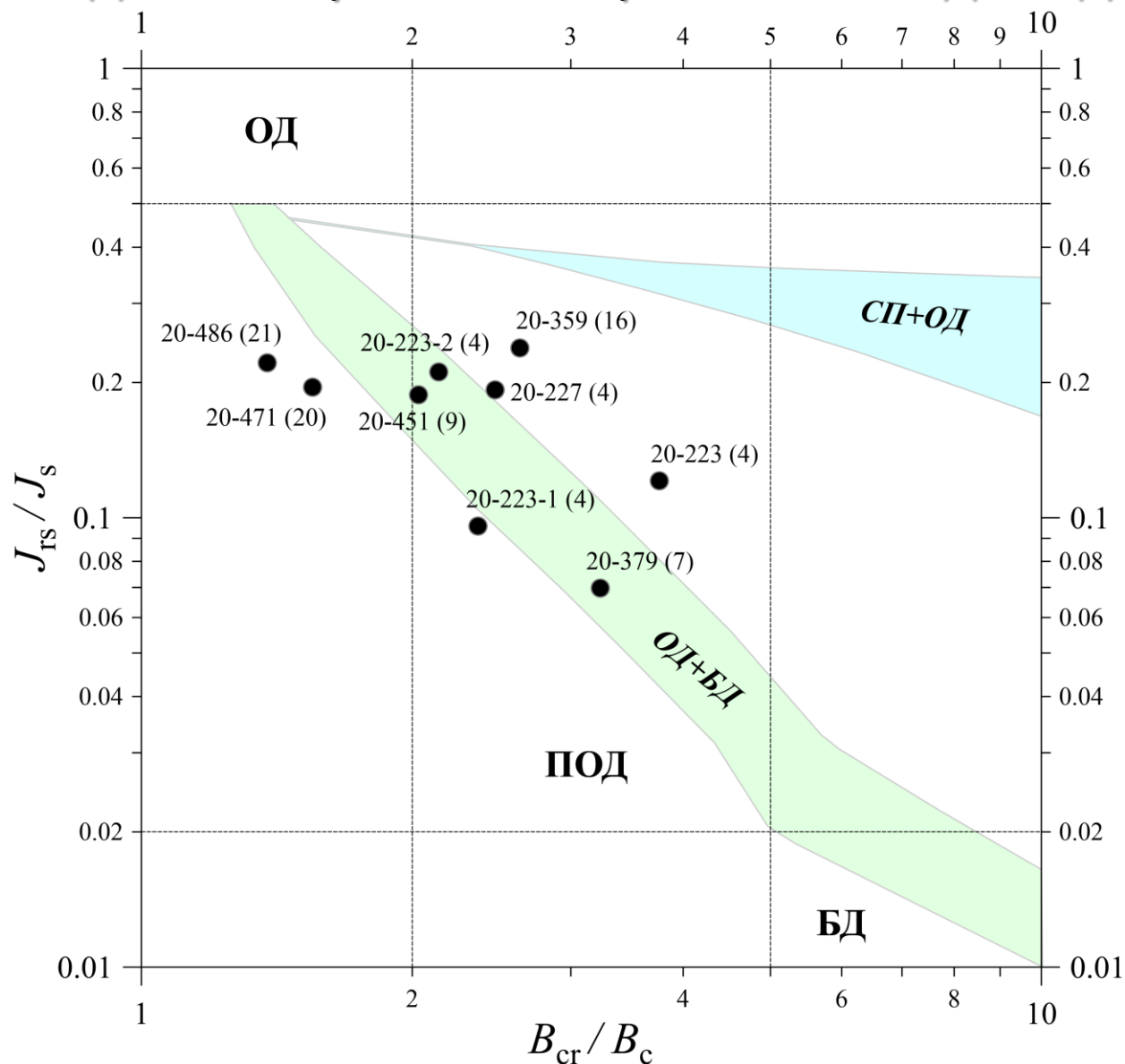
Графіки залежності $\chi(T)$ для зразків анортозитів.

Графіки залежності $\chi(T)$ для зразків габро.

Компоненти J_r : м'яка – \square , середня – \triangle ; жорстка – \circ .



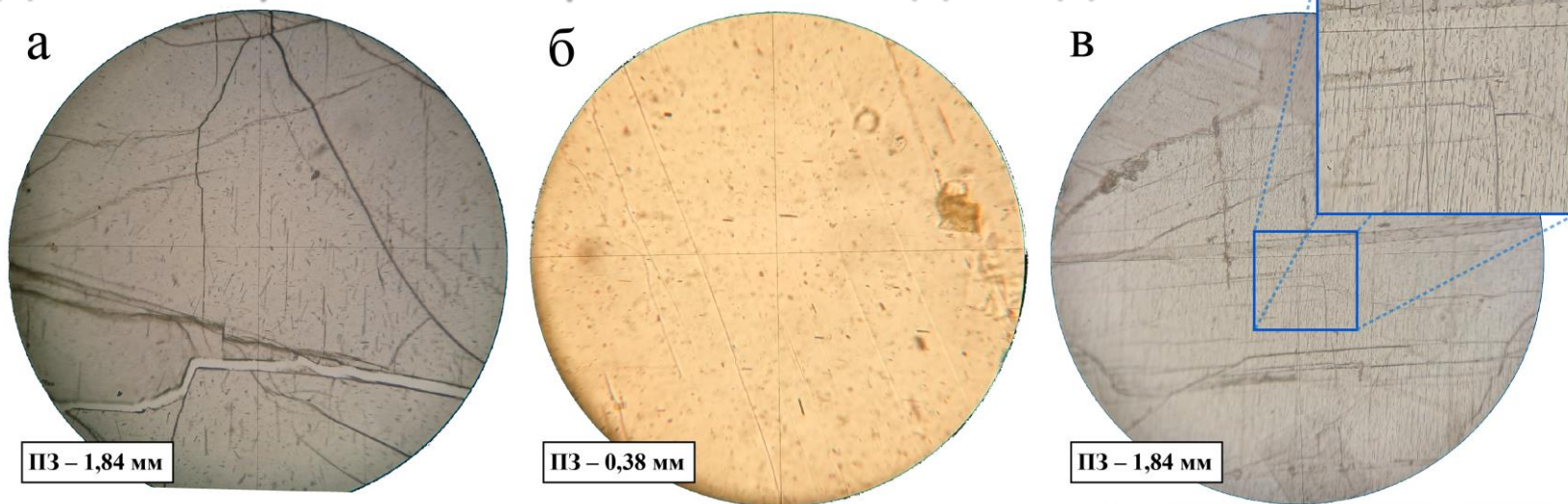
Температурне розмагнічування трьохосової J_r зразків анортозитів (зліва) та габро (справа).



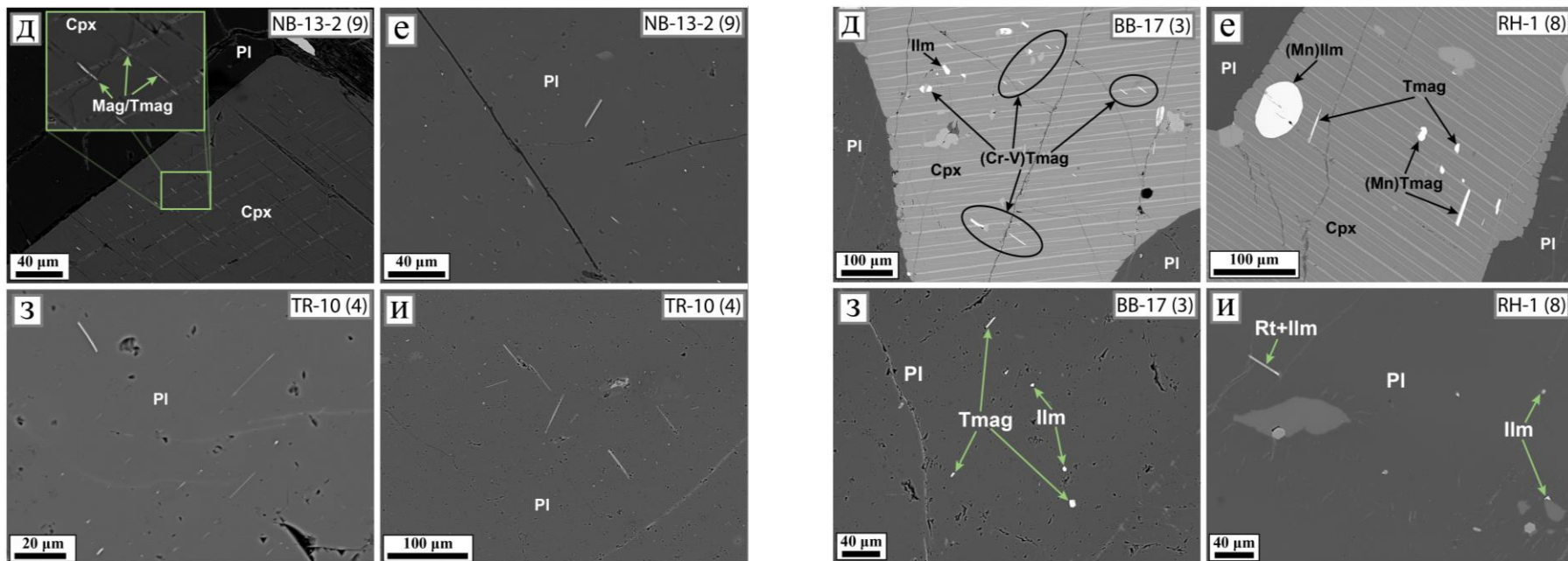
Одно-/псевдооднодоменні зерна магнетиту із високими температурами Кюрі (~580 °C) та вузьким діапазоном деблокуючих температур є одними із найбільш надійних кандидатів у носії первинної залишкової намагніченості.

Діаграма Дея-Данлопа та зони сумішей часток різного розміру за (Dunlop, 2002).

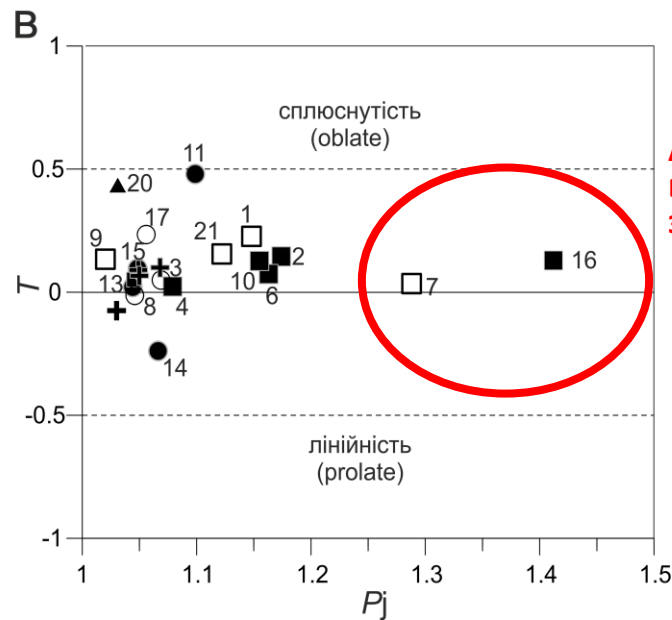
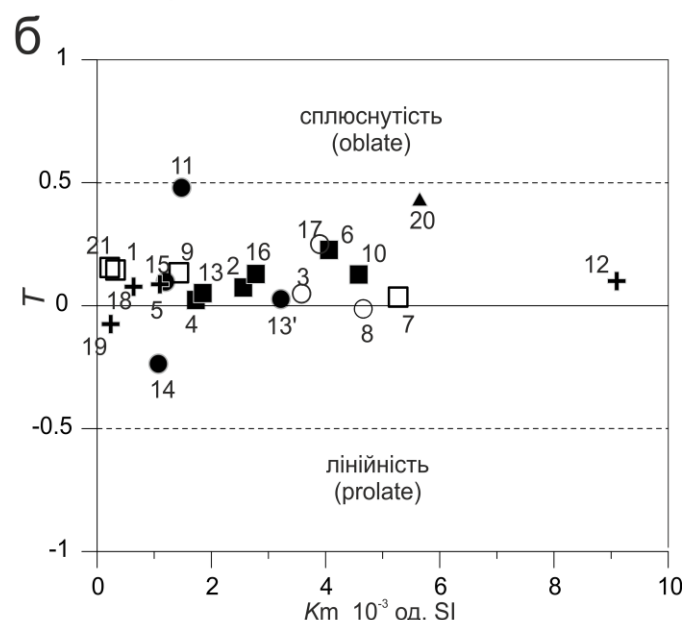
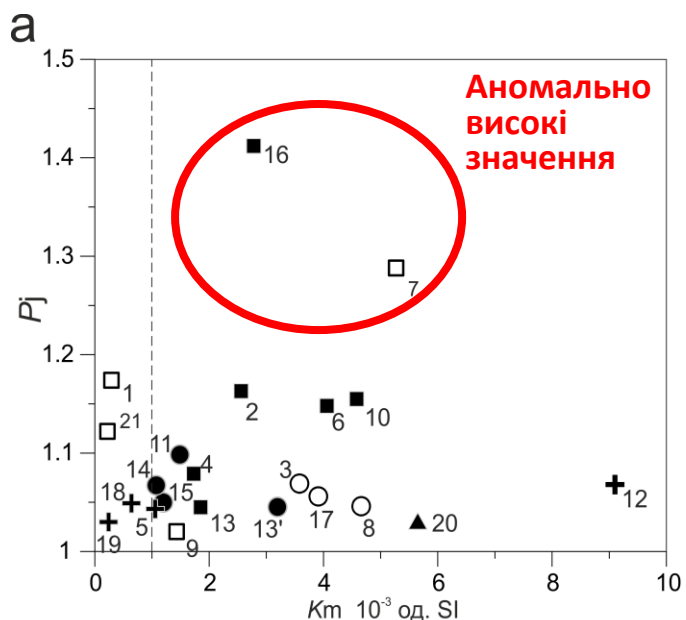
ОД, ПОД, БД – відповідно зони зерен у однодоменному, псевдооднодоменному та багатодоменному станах. ОД+БД та СП+ОД – зони суміші різних фракцій.



Включення непрозорих мінералів у плагіоклазах анортозитів.

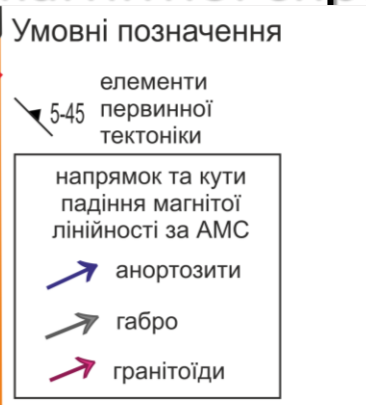
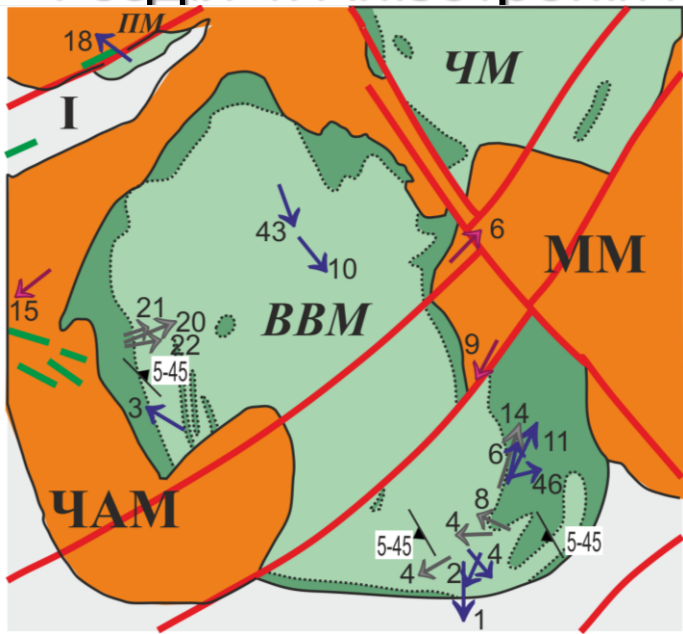


Приклади електронно-мікроскопічних зображень у відбитих електронах аншліфів анортозитів (зліва) та габро (справа).

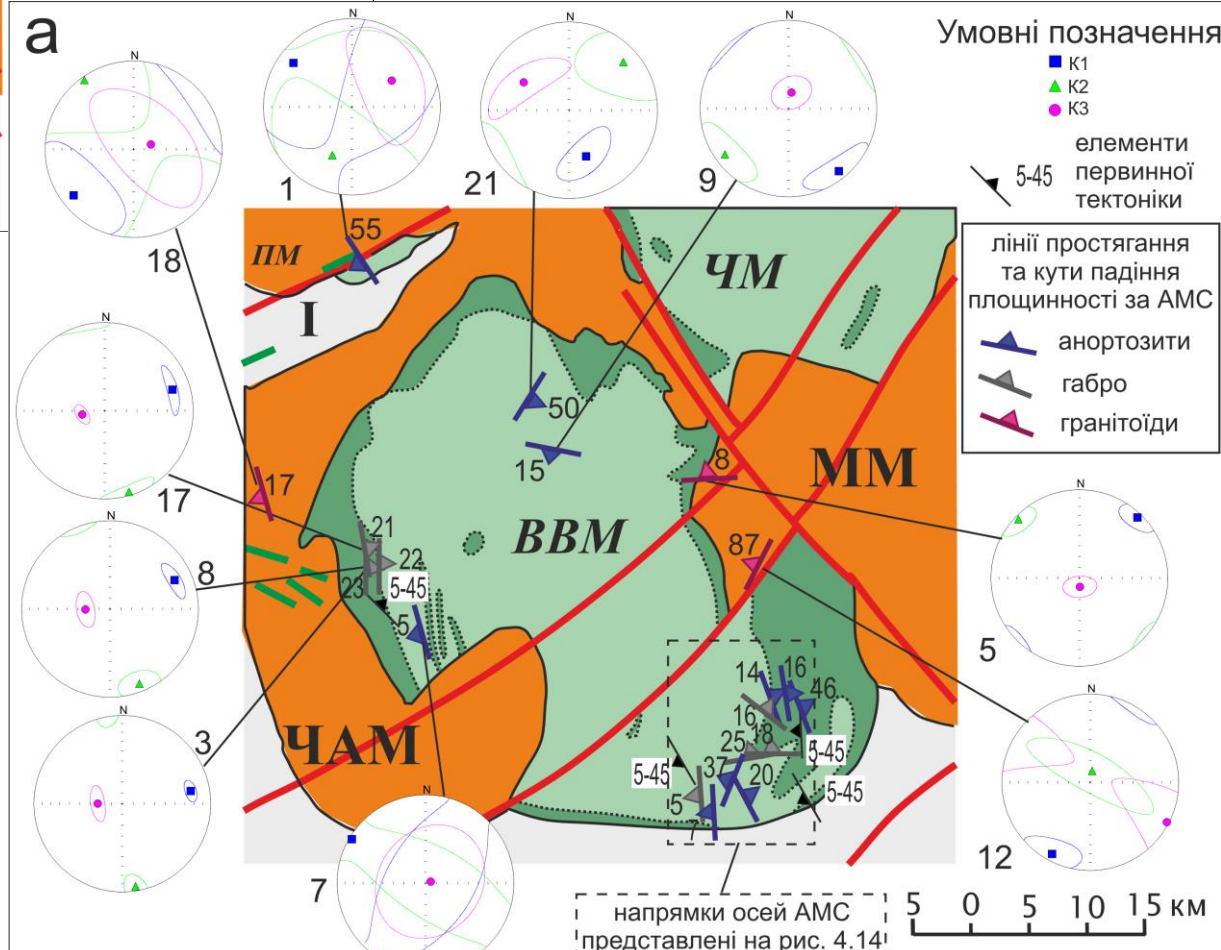


- анортозити півд. схід
- анортозити
- габро півд. схід
- габро
- ▲ долерити
- + гранітоїди

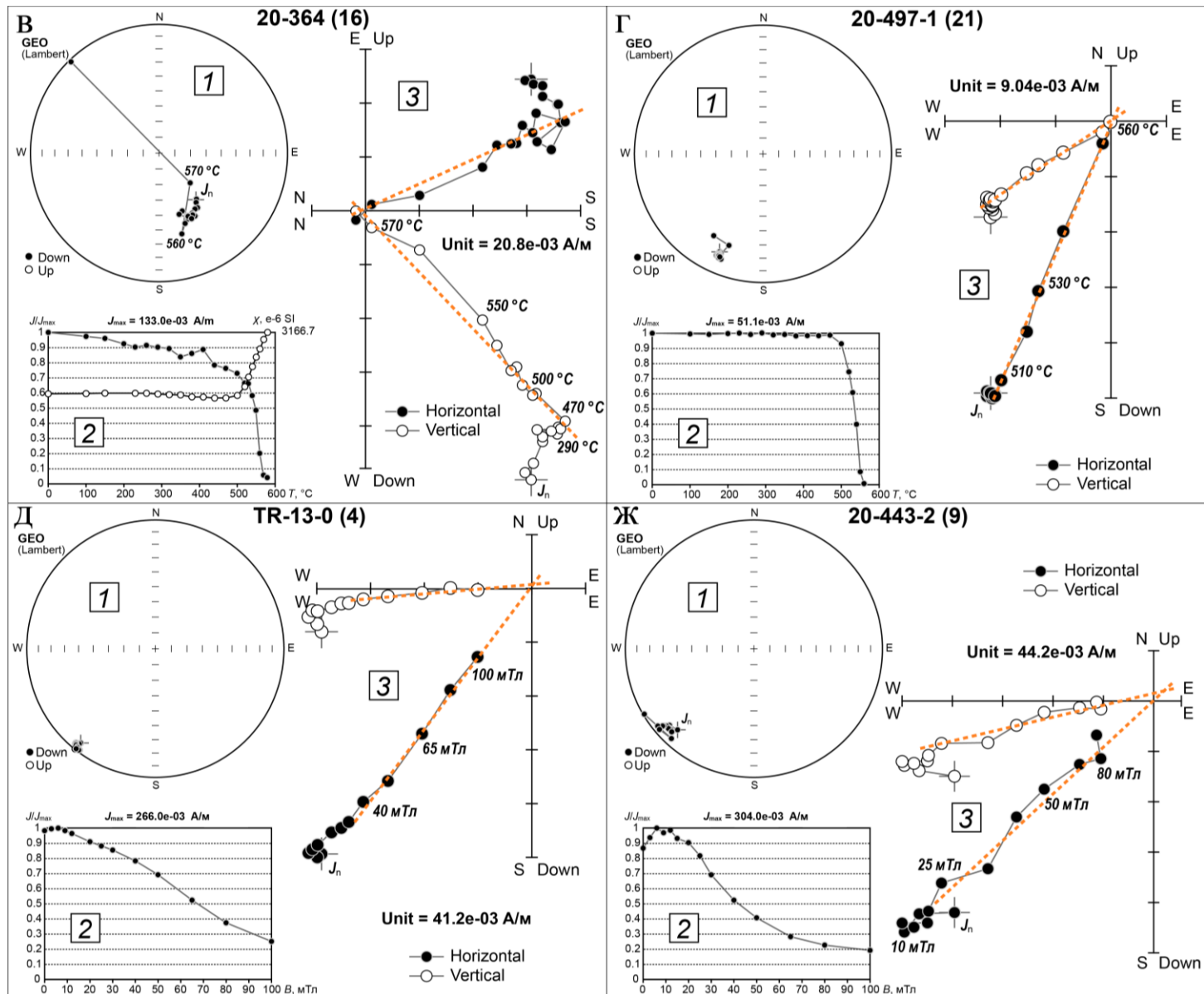
Графіки залежності ступеня анізотропії P_j від середньої магнітної сприйнятливості K_m (а), параметра форми еліпсоїда T_j від середньої магнітної сприйнятливості K_m (б), ступеня анізотропії P_j від параметра форми T_j (в).



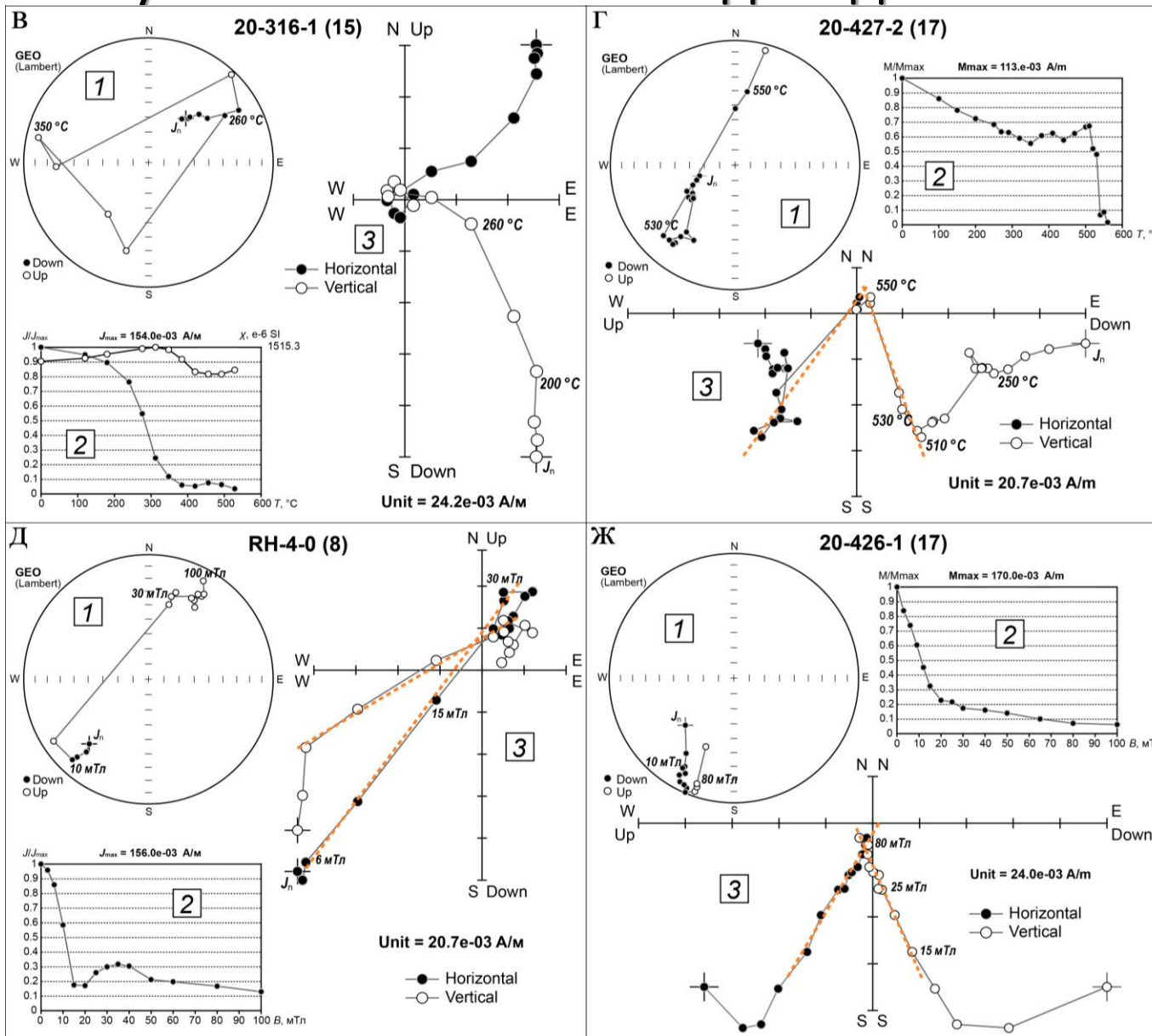
Карта розподілу магнітної лінійності



Карта розподілу елементів магнітної площинності та середні напрямки осей тензора AMC



Приклади розмагнічування зразків анортозитів T -чисткою (а–г) та АФ-чисткою (д, ж) і виділення векторів ХКН методом головних компонент

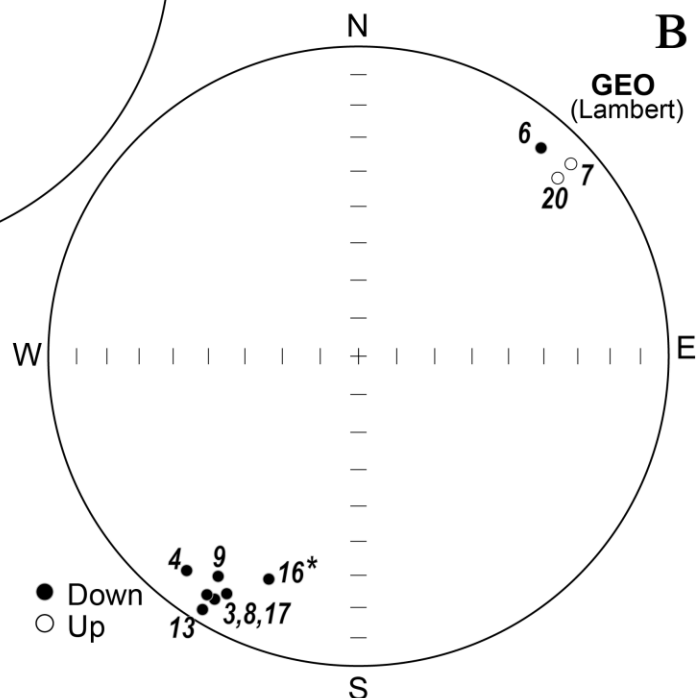
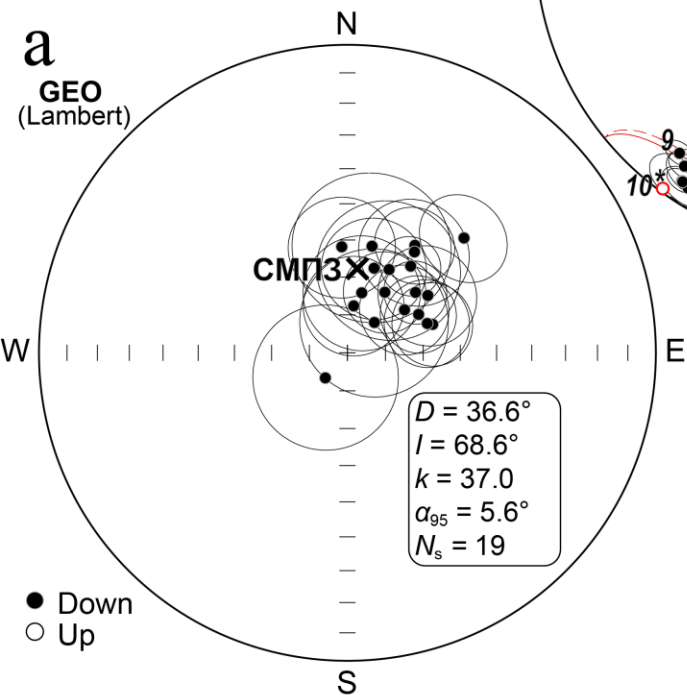
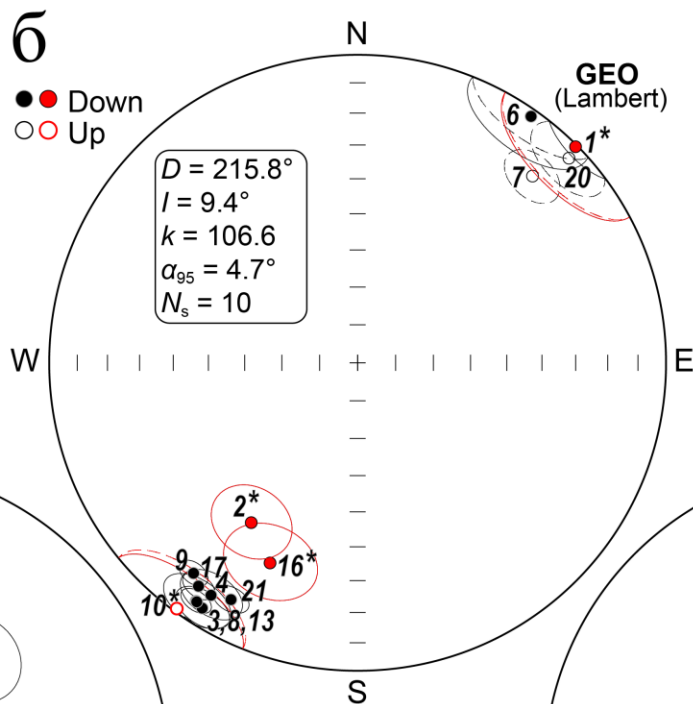


Приклади розмагнічування зразків габро T -чисткою (а–г) та АF-чисткою (д, ж) і виділення векторів ХКН методом головних компонент

Розділ 5. Результати палеомагнітних досліджень

Тест обернення
(клас «Б»)
 $\gamma = 8,60^\circ$; $\gamma_c = 9,37^\circ$

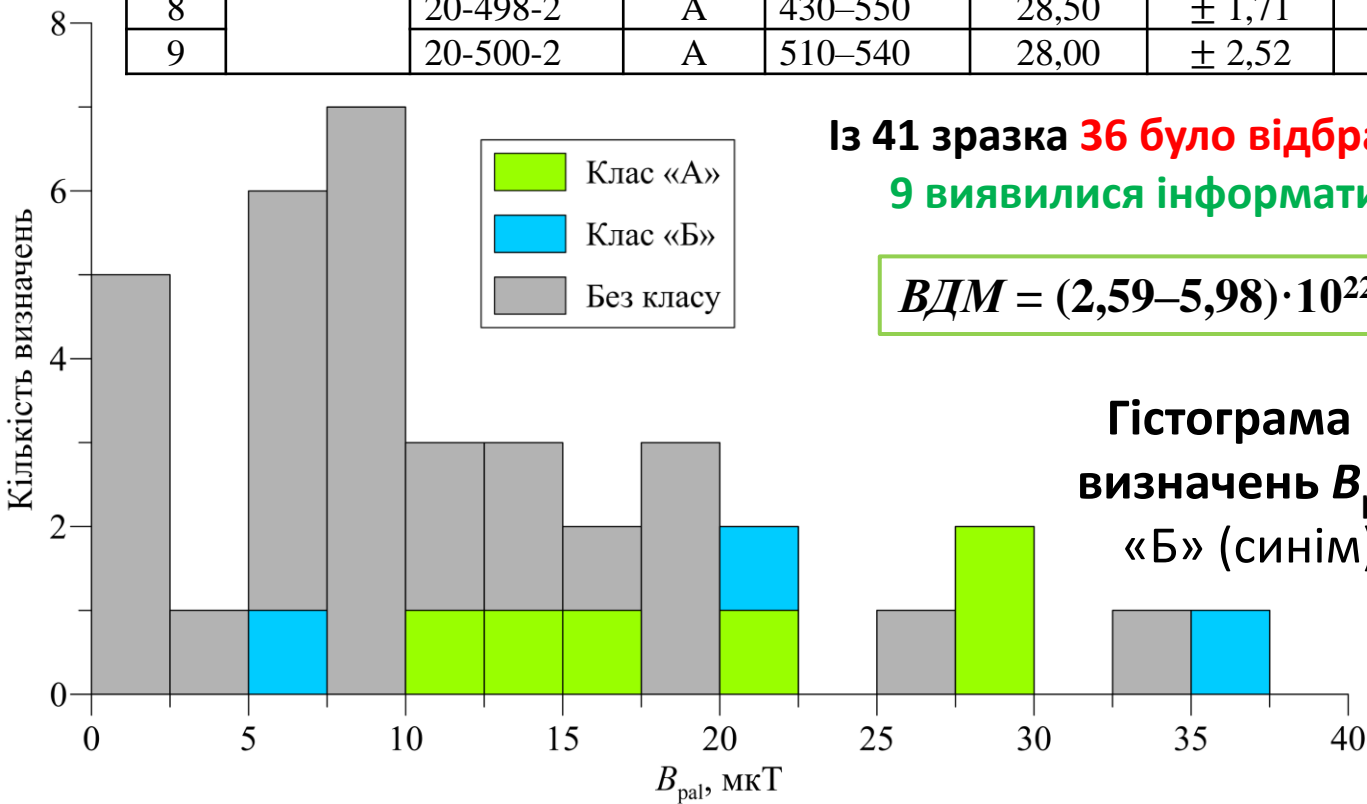
Дисперсія
 $\bar{S} = 10,8^\circ$



Середні для точок відбору напрямки в'язкої НТК (а) і високотемпературної ХКН, виділеної методом аналізу головних компонент (б) та методом кіл перемагнічування (в).

Результати визначення B_{pal} , які відповідають критеріям селекції

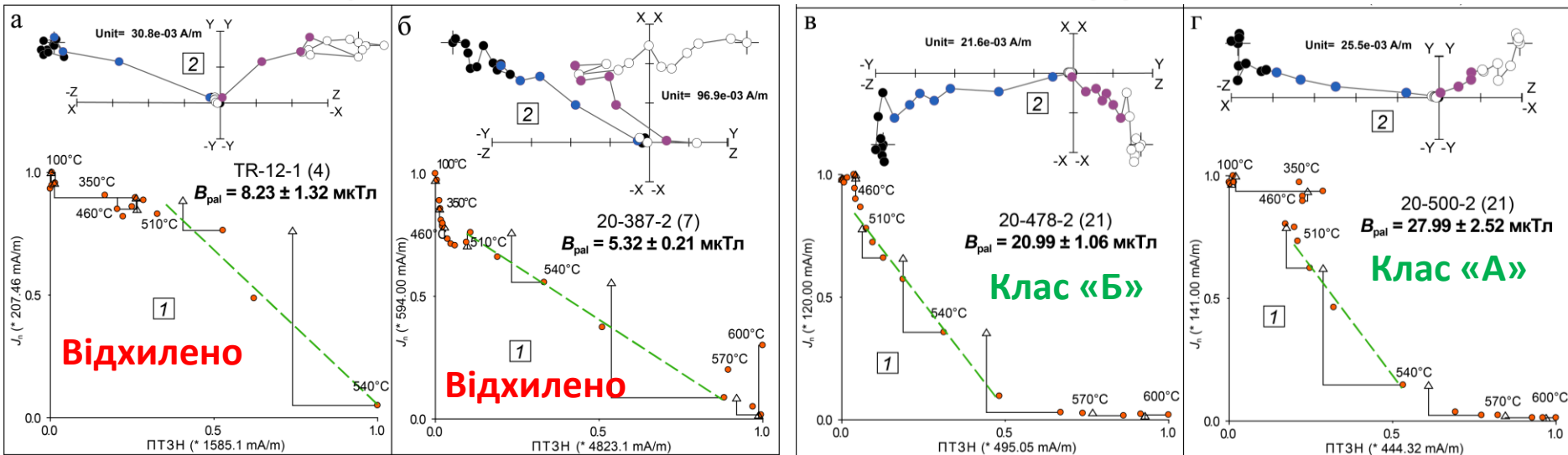
№ п.п.	№ точки відбору	Зразок	Клас	$T_{b-ub}, ^\circ C$	$B_{pal},$ мкТл	$\sigma B_{pal},$ мкТл	ВДМ, $10^{22} \text{ A} \cdot \text{m}^2$	Середній ВДМ, $10^{22} \text{ A} \cdot \text{m}^2$
1	4	20-219-1	А	490–530	12,90	$\pm 0,77$	3,31	3,31
2	7	20-395-2	Б	510–560	5,20	$\pm 0,31$	1,34	1,34
3	9	20-454-1	А	500–560	12,20	$\pm 0,49$	3,13	3,13
4	21	20-478-2	Б	490–550	21,00	$\pm 1,05$	5,39	(А) $5,98 \pm 1,54$
5		20-484-2	А	510–550	16,20	$\pm 1,13$	4,16	
6		20-485-2	А	460–550	20,50	$\pm 1,64$	5,27	
7		20-490-2	Б	490–570	36,20	$\pm 1,81$	9,30	
8		20-498-2	А	430–550	28,50	$\pm 1,71$	7,32	(А+Б) $6,44 \pm 1,85$
9		20-500-2	А	510–540	28,00	$\pm 2,52$	7,19	



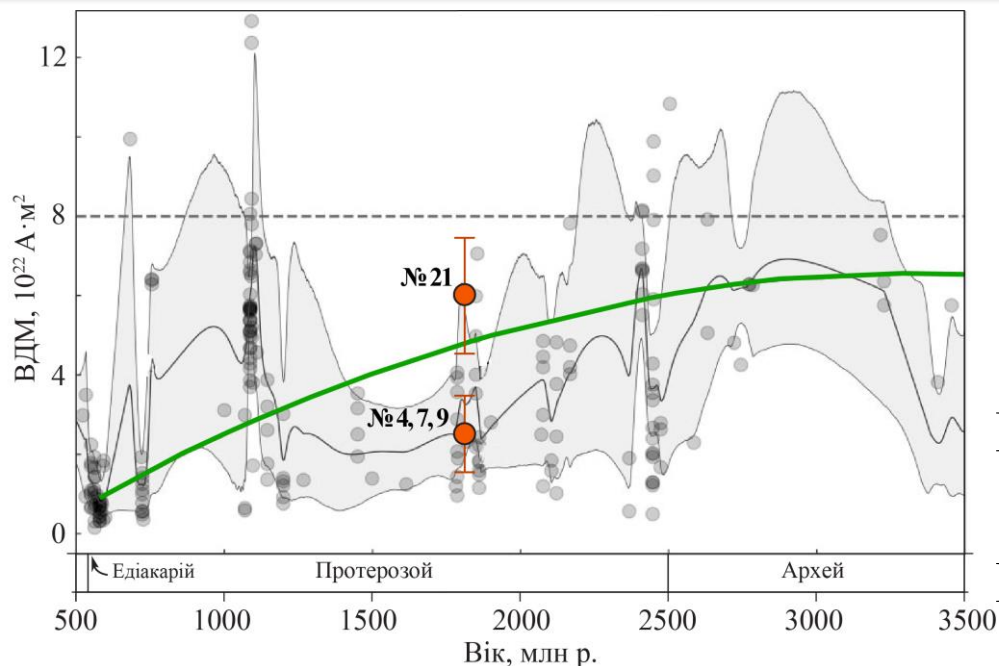
Із 41 зразка **36 було відбраковано**, а **9 виявилися інформативними**

$$ВДМ = (2,59 - 5,98) \cdot 10^{22} \text{ A} \cdot \text{m}^2$$

Гістограма розподілу отриманих визначень B_{pal} класу «А» (зеленим), «Б» (синім) та без класу (сірим).



Результати процедури Тельє-Кое у вигляді діаграм Араї-Нагата (знизу) та діаграм Зйдервельда (зверху) для зразків анортозитів, які було відбраковано (а, б), та які пройшли селекцію (в, г)



Напруженість геомагнітного поля протягом докембрію та нові ВДМ (оранжеві кружечки). Адаптовано з (Bristol et al., 2025).

Точки № 4, 7, 9

$$\text{ВДМ} = (2,59 \pm 1,09) \cdot 10^{22} \text{ A} \cdot \text{m}^2$$

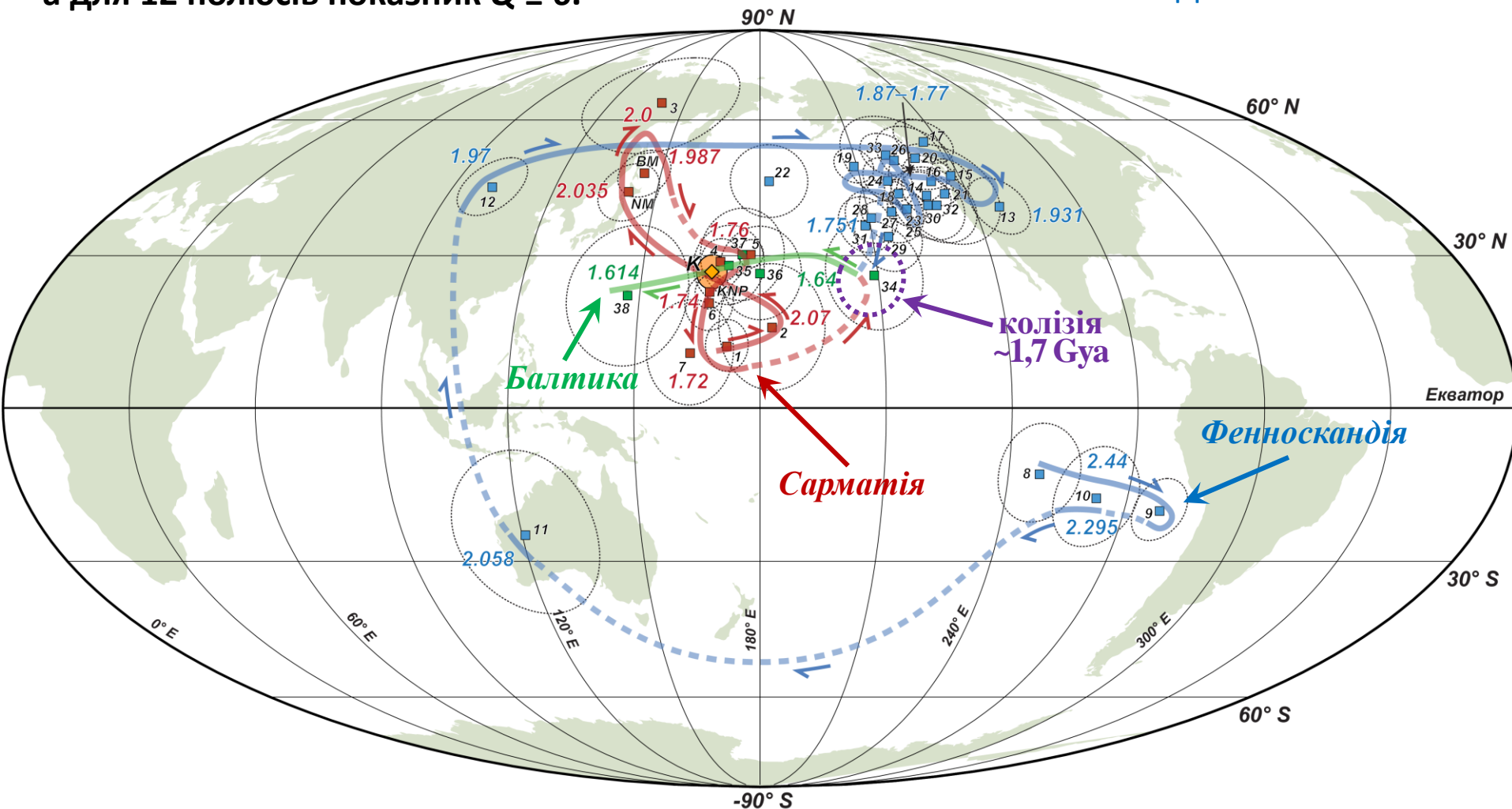
Точка № 21

$$\text{ВДМ} = (5,98 \pm 1,54) \cdot 10^{22} \text{ A} \cdot \text{m}^2$$

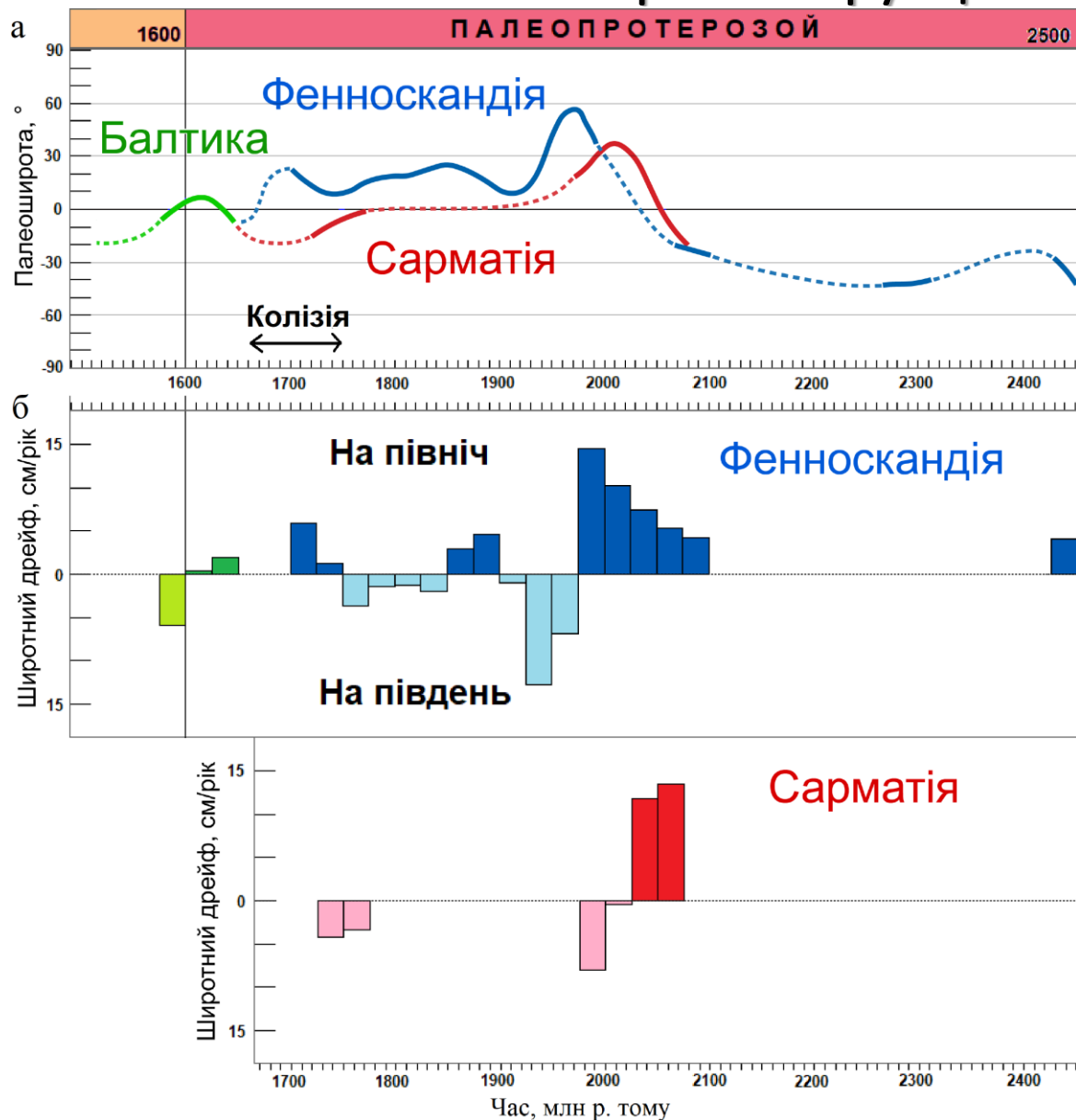
Із 42 визначень 26 полюсів вибірки мають індекс якості Q в межах $4 \leq Q \leq 5$, а для 12 полюсів показник $Q \geq 6$.

Сарматія – 11 полюсів

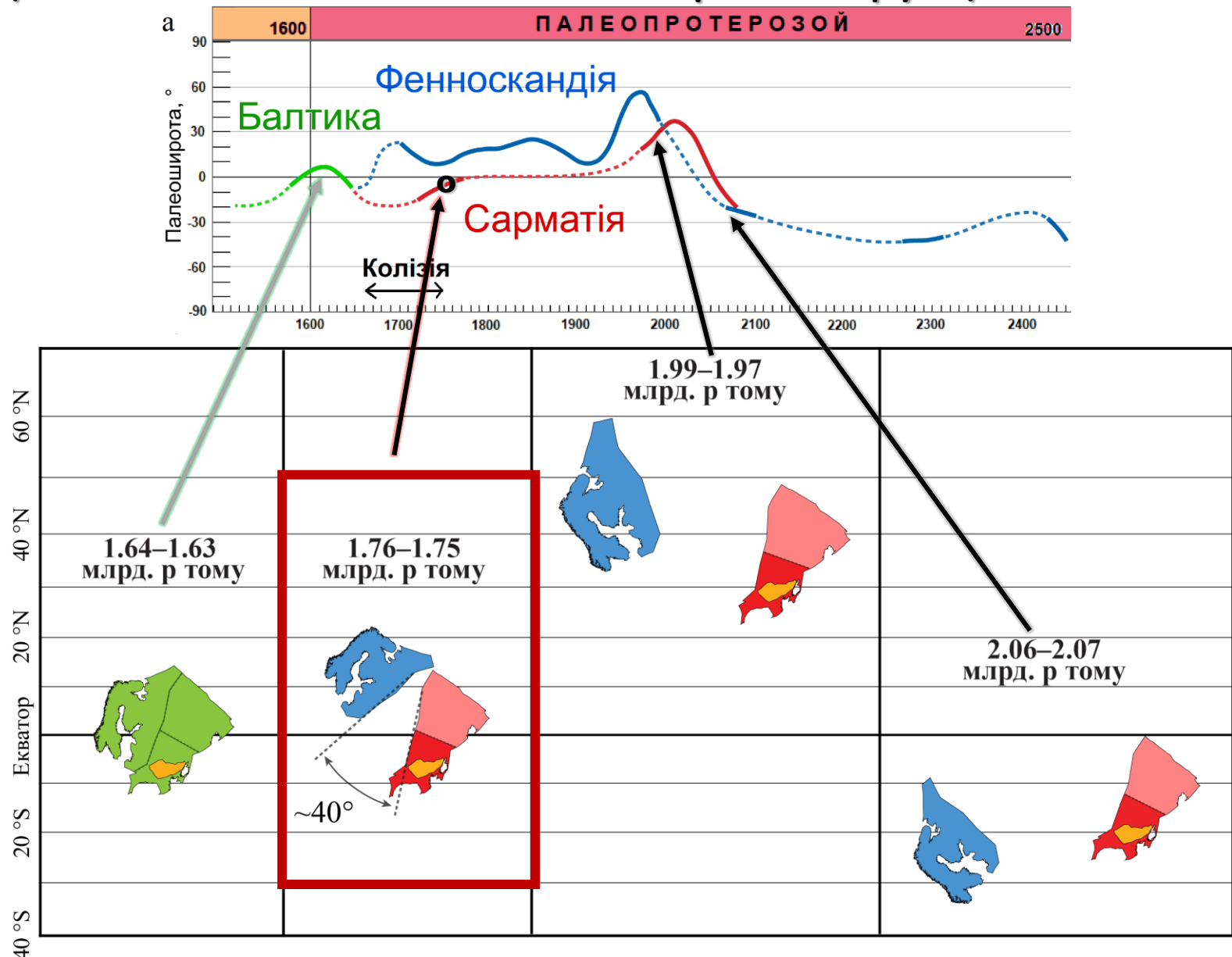
Фенноскандія – 26 полюсів



Вибірка палеомагнітних визначень та модель ТПМП для палеопротерозою Балтики



Палеоширотне положення (а) та швидкості широтного дрейфу (б) Сарматії (червоним), Фенноскандії (синім) та Балтики (зеленим).



Палеотектонічні моделі Балтики та її сегментів у палеопротерозої для певних часових діапазонів за палеомагнітними даними.

1. За результатами комплексних петромагнітних та магнітно-мінералогічних досліджень встановлено, що головними носіями характеристичної компоненти намагніченості у габроїдах Коростенського плутону є майже стехіометричний одно- та псевдооднодоменний магнетит із температурами Кюрі 550–580 °С. **Розширено і уточнено уявлення про особливості складу та генезису феромагнітних мінералів-носіїв залишкової намагніченості досліджуваних порід.**
2. Анортозити Володарськ-Волинського масиву Коростенського плутону характеризуються слабковираженим або нейтральним еліпсоїдом анізотропії магнітної сприйнятливості, тоді як габро мають виражені еліпсоїди, орієнтація яких певною мірою корелює з елементами первинної тектоніки. **Вперше виконано дослідження магнітної текстури габроїдів Володарськ-Волинського масиву Коростенського плутону.**
3. Методом компонентного аналізу виділено високотемпературну та висококоерцитивну характеристичну компоненту намагніченості, яка за всіма ознаками має термозалишкову природу і є первинною як в олівінових габро, так і в анортозитах. Розраховано палеомагнітний полюс віком 1,76 млрд р. ($\Phi = 26,6^\circ$, $\Lambda = 168,0^\circ$, $A_{95} = 3,6^\circ$), який відповідає сучасним критеріям надійності. **Виділено первинну термозалишкову характеристичну компоненту залишкової намагніченості у зразках анортозитів та габро Коростенського плутону та розраховано новий палеомагнітний полюс.**

4. Визначена за методом Тельє-Кое величина віртуального дипольного моменту $(2,59-5,98) \cdot 10^{22}$ А·м² вказує на вдвічі знижену відносно сучасної інтенсивність геомагнітного поля 1,76 млрд р. тому. Отримані дані підтверджують обґрунтованість гіпотези геоцентричного осьового диполя як базової моделі для палеотектонічних побудов у палеопротерозої. **Отримано нові оцінки палеонапруженості геомагнітного поля. Обґрунтовано можливість використання гіпотези геоцентричного осьового диполя для виконання палеотектонічних реконструкцій у палеопротерозої.**
5. Виконано вибірку найбільш достовірних палеомагнітних полюсів для палеопротерозою Східноєвропейської платформи. **Уточнено модель траєкторії позірної міграції палеомагнітного полюса для палеопротерозою СЄП та її сегментів (Сарматії та Фенноскандії).**
6. Побудовано оновлену модель траєкторії позірної міграції полюса для Сарматії та Фенноскандії, що дозволило розрахувати їх кінематичні параметри у палеопротерозої. Відповідно до нових палеомагнітних визначень, у період 1,76–1,75 млрд р. тому Сарматія була повернута відносно Фенноскандії на $\sim 40^\circ$ проти годинникової стрілки. Отже, остаточна амальгамація цих блоків із подальшим утворенням палеоконтиненту Балтика відбулася не раніше 1,75 млрд р. тому. **Запропоновано оновлені моделі палеотектонічних реконструкцій для СЄП.**

Статті у періодичних наукових фахових виданнях України, проіндексованих у наукометричних базах Scopus та Web of Science Core Collection

1. **Cherkes, S.** (2025). New results of palaeomagnetic and rock magnetic studies of gabbroids of the Korosten pluton of the Ukrainian Shield. *Geodynamics*, 2(39), 129–144. <https://doi.org/10.23939/jgd2025.02.129> (*Scopus-Q2, Web of Science*)
2. Бахмутов, В., Митрохин, О., **Черкес, С.**, & Поляченко, Є. (2025). Магнетизм і анізотропія магнітної сприйнятливості габроїдів Володарськ-Волинського масиву Коростенського плутону Українського щита. *Геофізичний журнал*, 47(4), 90–121. <https://doi.org/10.24028/gj.v47i4.335689> (*Scopus-Q2, Web of Science*)
3. Bakhmutov, V., Mytrokhyn, O., Poliachenko, I., & **Cherkes, S.** (2023). New palaeomagnetic data for Palaeoproterozoic AMCG complexes of the Ukrainian Shield. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 45(4), 3–19. <https://doi.org/10.24028/gj.v45i4.286283> (*Scopus, Web of Science*)

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалі дисертації (6 тез доповідей)

4. Бахмутов, В.Г., Митрохин, О.В., **Черкес, С.І.**, & Поляченко, Є.Б. (2025). Магнітна текстура габроїдів Володарськ-Волинського масиву Коростенського плутону Українського щита. В В.Г. Бахмутов, К.В. Вовк, В.А. Ільєнко, В.М. Загнітко, М.С. Ковальчук, Т.О. Кошлякова, Г.О. Кульчецька, І.М. Луньова, І.А. Самборська, & В.В. Сукач (Ред.), *Геологічна будова та корисні копалини України: Збірник тез всеукраїнської наукової конференції (Київ, 16–17 вересня 2025 р.)* (с. 176–180). НАН України, Ін-т геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка. <https://igmr.org.ua/pdf/Abstracts2025.pdf>

5. **Черкес, С.І.**, Бахмутов, В.Г., Митрохин, О.В., Поляченко, Є.Б., & Литвиненко, Ю.О. (2024). Палеотектонічна реконструкція Східноєвропейської платформи у палеопротерозої за результатами палеомагнітних досліджень. В *Геологічна будова та історія геологічного розвитку Українського щита (до 100-річчя від дня народження академіка НАН України М.П. Щербака): Збірник матеріалів наукової конференції (Київ, 17–18 вересня 2024 р.)* (с. 287–291). НАН України, Ін-т геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка. <https://doi.org/10.30836/gbhgd.2024.60>
6. **Cherkes, S.**, Poliachenko, I., Hlavatskyi, D., Melnyk, G., & Bakhmutov, V. (2024). Palaeogeography of Ukraine from the Precambrian to the Quaternary: recent achievements of the Kyiv palaeomagnetic school. In *Ideas and Innovations in Earth Sciences: Proceedings of the 10-th International Geosciences conference of young researchers, 23–24 May 2024, Kyiv, Ukraine* (pp. 101–103). Department of Geosciences, NAS of Ukraine. <https://doi.org/10.30836/igs.iies.2024.33>
7. **Cherkes, S.**, Bakhmutov, V., Poliachenko, I., Mytrokhyn, O., Shpyra, V., & Yakukhno, V. (2023). Palaeomagnetism of the Palaeoproterozoic rocks of the ~2 Ga Novoukrainka and Buky massifs of the Ukrainian shield. *XVII International Scientific Conference “Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment”, 7–10 November 2023, Kyiv, Ukraine*, Mon23-199. <http://dx.doi.org/10.3997/2214-4609.2023520199> (Scopus)
8. **Cherkes, S.**, Bakhmutov, V., Mytrokhyn, O., Poliachenko, I., & Skarboviychuk, T. (2023). Palaeomagnetism of the Palaeoproterozoic basic rocks of the Volodarsk-Volynskyi massif, Korosten plutonic complex. *International Conference of Young Professionals “GeoTerrace-2023”, 2-4 October 2023, Lviv, Ukraine*, GeoTerrace-2023-008. <http://dx.doi.org/10.3997/2214-4609.2023510008> (Scopus)
9. Bakhmutov V., Poliachenko I., **Cherkes S.** (2018). From magnetic domains to geologic terranes: paleomagnetism, geotectonics and some earth science problems. *17th International Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects, 14–17 May 2018, Kiev, Ukraine*, 13662. <http://dx.doi.org/10.3997/2214-4609.201801750> (Scopus)

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!