

# SUBSTANTIATION OF THE MODEL OF THE GEOLOGICAL STRUCTURE IN THE AREA OF THE SITE OF THE EDUCATIONAL AND SCIENTIFIC EXPEDITION IN THE WESTERN AZOV REGION

*A. Pinchuk<sup>1</sup>, O. Tatsii<sup>1</sup>, O. Poliashov<sup>2\*</sup>*

*<sup>1</sup>Poltava Applied Oil and Gas College of National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic", Poltava, Ukraine*

*<sup>2</sup>Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine*

*\*Corresponding author: [alek65548@gmail.com](mailto:alek65548@gmail.com)*

**Abstract.** A model of the geological structure of the site for conducting an educational and scientific expedition (Western Azov Sea) is proposed in order to simplify and use it for geological survey work by students of higher educational institutions, colleges and technical schools.

**Key words:** protolith, metamorphism, physical fields, rocks, geological bodies.

## ОБГРУНТУВАННЯ МОДЕЛІ ГЕОЛОГІЧНОЇ БУДОВИ НА ПЛОЩІ ДІЛЯНКИ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВОЇ ЕКСПЕДИЦІЇ В ЗАХІДНОМУ ПРИАЗОВ'І

*А. Пінчук<sup>1</sup>, О. Тацій<sup>1</sup>, О. Поляшов<sup>2\*</sup>*

*<sup>1</sup>Полтавський коледж нафти і газу Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», м. Полтава, Україна*

*<sup>2</sup>Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна*

*\*Відповідальний автор: [alek65548@gmail.com](mailto:alek65548@gmail.com)*

**Анотація.** Запропоновано модель геологічної будови ділянки проведення навчально-наукової експедиції (Західне Приазов'я) з метою спрощення і використання для проведення геолого-знімальних робіт студентами вищих навчальних закладів, коледжів та технікумів.

**Ключові слова:** протоліт, метаморфізм, фізичні поля, гірські породи, геологічні тіла.

### 1. Вступ

Робота була виконана студентами за матеріалами, зібраними в навчально-науковій експедиції (Західне Приазов'я). Геологічні маршрути пройдені по правому березі вгору за течією р. Берда від греблі Бердянського водосховища. При проходженні геологічних маршрутів описані різноманітні метаморфічні гірські породи і мінерали. Частина з них входить до навчальних колекцій і їх діагностика в польових умовах труднощів не викликала. Труднощі виникли при картуванні геологічної будови і аналізі генезису порід кристалічного щита західного Приазов'я. Труднощі пов'язані з осмисленням геологічних процесів, що призвели до утворення геологічних тіл, складених метаморфічними гірськими породами архею. Авторами зроблена спроба спростити модель генезису порід на підставі навчального, польового та експериментального матеріалу. Ініціатива написання роботи належить студентам Полтавського коледжу нафти і газу і служить підсумковим результатом навчально-наукової експедиції. Майбутні експедиції дозволять перевірити, уточнити і доповнити обговорюваний матеріал.

Мета: спростити модель геологічної будови на площі ділянки навчально-наукової експедиції в Західному Приазов'ї.

Завдання:

- Обґрунтувати спрощену модель генезису ультраметаморфічних гірських порід.
- Показати особливості роботи з додатком для смартфонів «Гірський компас».
- Підготувати координатну сітку топографічної основи і узгодити її з GPS координатами додатки «Гірський компас».

– Винести на топографічну основу точки спостережень, побудувати геологічну карту і розріз з використанням програми CorelDRAW.

## 2. Методика

Вгору за течією р. Берда породи змінювалися в послідовності: діорити, амфіболіти, кристалічні сланці, граніти, пегматити. Геологічні тіла, складені цими породами, представлені крутопадаючими шарами різної потужності. За рахунок зміни мінерального складу колір порід змінюється від чорного до світло-рожевого. Відзначено закономірне насичення порід кварцовими лінійними тілами: прожилками, жилами, дайками, площадними виходами на земну поверхню молочно-білого кварцу.

При побудові геологічної карти ділянки в масштабі 1:25000 відповідно до існуючої стратиграфічної шкали всі породи віднесені до одного віку і геологічна карта підлягає зафарбовуванню одним кольором. Тому для навчальних цілей відносний вік геологічних тіл, складених метаморфічними породами, запропоновано розділяти по числу геологічних процесів, подій або актів перетворення вихідного материнського мінерального агрегату – протоліту.

Під протолітом розуміється вихідний первинний вулканіт базальтового складу (базальт), який після ущільнення і прогріву набув вигляду амфіболіту. Подальші геологічні процеси призводять до часткових (структурно-текстурованих) перетворень протолітів або до повного зникнення, втрати всіх вихідних ознак. Усі породи, які контактують з амфіболітом або він їх вміщує, приймаємо за дочірні, що утворилися шляхом перетворення амфіболіту під впливом зовнішньої енергії. На початковому етапі формування земної кори таке припущення правомірно, так як осадових відкладів практично не було і утворення ортопорід було домінуючим над накопиченням паропорід.

Для аналізу видів енергії, що перетворюють протоліт, звернемося до аналізу матеріалу, викладеного в навчальному посібнику [1], а саме, до класифікації ендегенних процесів (с.188, Додаток А). У цьому додатку відображені результати впливу на мінеральну речовину енергії фізичних полів: теплового, напруг (тиску) і рідинно-газових потоків (флюїдів).

**Таблиця 1**

**Класифікація ендегенних геологічних процесів**

Види процесів	Різновиди та особливості процесів	Геологічні результати процесів
Метаморфізм – перетворення будь-яких порід в метаморфічні під впливом механічної, теплової та хімічної на них дії в земній корі	Контактний – відбувається в зоні теплової і хімічної дії між магмою і вміщуючими її гірськими породами. Особливістю такого метаморфізму служить локальність прояву	Глини перетворюються в роговики, вапняки в мармур, кварцові пісковики в кварцити. Хімічний обмін (метасоматоз) призводить до нового мінерало- і породоутворення.
	Динамічний (дислокаційний) – приурочений до розломів, де взаємне переміщення блоків кори руйнує породи, з яких вони складаються. До особливості метаморфізму слід віднести локалізацію прояву	Утворюються уламкові породи – тектоніти – грубоуламкові (катаклазити) і тонкоперетерті (мілоніти)
	Регіональний – відбувається в глибоких прогинах земної кори під дією високої температури, тиску, різних газів і розчинів	Піщано-глинисті породи перетворюються в різні сланці і гнейси, вапняки в мармур, пісковики в кварцити; магматичні породи в амфіболіти, талькові та

	інші сланці
Ультраметаморфізм – вищий ступінь регіонального метаморфізму, що переходить в магматизм. Включає в себе всі різновиди і особливості геологічних процесів	Сланці, гнейси, амфіболіти та інші частково або повністю розплавляються і перетворюються в різні мігматити, граніти, пегматити

Введемо праву систему координат X, Y, Z, де вісь X спрямована на північ, вісь Y – на схід, вісь Z – до центру Землі. Напрямок осі Z збігається з напрямком сили тяжіння g, а площина X – Y розташовується на поверхні геоїда (вод Світового океану). Значення температури (T) і тиску (P) в нижньому півпросторі збільшуються з глибиною залягання порід (H) за лінійною залежністю (посилання на с. 53 і с. 134 [1]):

$$T_h = T_0 + \Gamma \cdot (H - h) \quad (1);$$

$$P_h = P_0 + \gamma \cdot H \quad (2),$$

де T, P і H – відповідно температура, тиск і глибина; T<sub>0</sub> – середньорічна температура, що відповідає глибині – h; P<sub>0</sub> – атмосферний тиск на поверхні вод Світового океану, ρ і γ – щільність і питома вага вищезалягаючих гірських порід відповідно; Γ - геотермічний градієнт.

Нехтуючи значеннями величин P<sub>0</sub>, T<sub>0</sub> і h, вирази 1 і 2 набувають вигляду:

$$T_h = \Gamma \cdot H \quad (3)$$

$$P_h = \frac{F}{S} = \frac{mg}{S} = \frac{mgH}{SH} = \rho \cdot g \cdot H = \gamma \cdot H \quad (4)$$

Для спрощення розрахунків прийемо геотермічний градієнт рівним 3°/100 м, щільність порід (ρ) – 3 т/м<sup>3</sup>, g ≈ 10 м/с<sup>2</sup>.

Теплове поле. Температуру гірських порід на глибині залягання 1000 м оцінимо за формулою (3):

$$T_{1000\text{м}} = \frac{3^\circ\text{C}}{100\text{м}} \cdot 1000 \text{ м} = 30^\circ\text{C}$$

Найбільшим геотермічним градієнтом в земній корі вважається градієнт в штаті Орегон (США) рівний 15°С/100м. У початковій фазі формування земної кори температура розплаву на земній поверхні не перевищувала 1500°С, тобто земна поверхня була представлена поверхнею розплаву. До мінеральних представників того часу відносять уламки циркону Zr [SiO<sub>4</sub>], знайдені в Австралії, з абсолютним віком, що істотно перевищує вік амфіболітів Українського щита (УЩ). Порівняльна зміна температур зі збільшенням глибини залягання відкладень при геотермічних градієнтах 3°/100 м і 15° С /100м приведено в таблиці 2.

Поле напружень. Оцінимо значення тиску, що направлений на гірські породи, на глибині 1000 м, за формулою (4):

$$P_{1000\text{м}} = g \frac{3 \text{ т}}{\text{м}^3} \cdot 1000 \text{ м} = g \frac{3\,000\,000 \text{ кг}}{\text{м}^2} = \frac{30\,000\,000 \text{ Н}}{\text{м}^2} = 30 \text{ МПа} = 300 \text{ бар}$$

Аналогічно оцінимо зміну значень параметрів тиску і температури через 1 км до глибини 10 км (таблиця 2).

Поле потоків. Мінеральне середовище має несучільності, що забезпечують потоки рідких і газоподібних продуктів: фільтрація (енергія перепаду тиску) і термоосмотична фільтрація (енергія теплового поля). Під впливом гравітаційного, теплового полів і поля швидкостей потоків флюїдів гірські породи перетворювалися в метаморфіти (метаморфічні гірські породи).

З аналізу розподілу температур з глибиною при різних геотермічних градієнтах (таблиця 2)

впливає, що потужність земної кори на початковому етапі її формування була тонкою з домінуванням в ній процесів, ініційованих тепловим полем. Первинний базальт, що формувався у вигляді тонких шарів, конвективними потоками магми ламався, захоплювався на глибину, частково переплавлявся і, як менш щільний матеріал, виштовхувався на поверхню.

**Таблиця 2.**

Характеристика термодинамічних умов у нижньому напівпросторі до глибини 10 км

Глибина, Н, км	Умови у нижньому напівпросторі при тепловому полі з геотермічним градієнтом ( $\Gamma$ )				
	Градієнт температури ( $\Gamma$ )				Деформація порід при $\Gamma = 3^\circ\text{C}/100\text{м}$
	$\Gamma = 3^\circ\text{C}/100\text{м}$		$\Gamma = 150^\circ\text{C}/100\text{м}$		
	Температура, $T, ^\circ\text{C}$	Тиск, $P_g$ , МПа (літостатичний)	Температура, $T, ^\circ\text{C}$	Тиск, $P_g$ , МПа (гідростатичний)	
1	30	30	150	30	Пружно-пластичні
2	60	60	300	60	-
3	90	90	450	90	-
4	120	120	600	120	-
5	150	150	750	150	Тріщиноутворення в сухих амфіболітах
6	180	180	900	180	-
8	240	240	Магма	240	-
9	270	270	Магма	270	Руйнування сухих амфіболітів
10	300	300	Магма	300	-

Щільність його зменшувалася в результаті виходу на глибину високотемпературних щільних продуктів. Багаторазове плавлення первинних вулканітів, що супроводжувалося випаровуванням в атмосферу рідинно-газових компонентів і відходом на глибину щільних мінералів, приймаємо за найбільш ранні акти перетворення протоліту.

### 3. Результати та обговорення

Першою метаморфічною подією будемо вважати утворення з протоліту амфіболітів. Амфіболіт утворювався при температурах понад  $400^\circ\text{C}$  і при тиску, що забезпечує тільки фізичні процеси: ущільнення і витискання несущільностей (переважно пор).

Другою метаморфічною подією будемо вважати утворення з амфіболітами діоритів. Під впливом теплового поля (енергія поля тиску витрачається на перебіг тільки фізичних процесів) амфіболіти світлішали з утворенням і накопиченням в них кварцу, плагіоклазу, слюд. Мінерали в матеріалі субстрату рівномірно розподілялися в об'ємі, утворюючи рівномірну текстуру відповідно до характеру відокремлення від розплаву флюїдів і диференціації мінеральних компонентів в гравітаційному полі.

Третьою метаморфічною подією будемо вважати утворення мігматитів. Зі збільшенням потужності земної кори активну участь в диференціації мінералів частково розплавленої маси субстрату приймає гравітаційне поле (літостатичний тиск). Блоки високотемпературних складових протоліту – палеосоми, «плавають» в низькотемпературній розплавленій масі – (в охолоджену вигляді неосомі). Зовнішній вигляд мігматитів представлений на рис. 1 і рис. 2.



Рис. 1. Відслонення мігматитів з чітким розподілом на палеосоми та неосоми



Рис. 2. Відслонення мігматиту зі слідами пластичних деформацій і розподілу всієї маси на світлі та темні компоненти

Неосома, в свою чергу, розділена на більш світлі смуги – лейкосома, і більш темні смуги –

меланосома. Подальша диференціація мінералів по щільності і температурі плавлення призводить до утворення гранітів (лейкосома) і до накопичення матеріалу для формування гнейсів (меланосома).

У цей етап формування земної кори вона розпадалася на блоки, що переміщуються відносно один одного. При цьому верхня частина блоку відчувала тиск при більш низькій температурі, ніж нижня частина, де породи більш пластичні. Значення літостатичного тиску досягали значень межі міцності гірських порід.

Можна провести аналогію між деформацією блоку земної кори в цей період з деформацією пластичної породи при одноосьовому стисканні. Зразок гіпсу при одноосьовому стисканні деформується з істотним внеском пластичного деформування. При змащуванні нижньої межі зразка результати руйнування можна розглядати в якості моделі деформування блоку земної кори на ранній стадії її утворення (рис 3).



Рис. 3. Зразок гіпсу, нижня границя якого оброблена мастилом, після одноосьового навантаження

У зразках утворюються рівновіддалені вертикальні тріщини. Будучи перенесеними на об'єм блоку земної кори, що деформується, аналогічний процес доповнюється заповненням несущільності легкоплавкою мінеральною масою.

Четвертою меаморфічною подією запропоновано вважати (виходячи з подібності процесу деформування зразка гіпсу і блоку земної кори) утворення лінійних тіл – гранодіоритів (північна частина ділянки знімальних робіт, рис.4).



Рис. 4. Розвиток лінійних форм у вигляді дайок на площі розвитку мігматитів

В археї земна кора деформувалася за участю переміщення відокремлених блоків, взаємодія яких між собою призводила до утворення джерел надлишкових напруг – тектонічних тисків.

Тектонічні тиски можуть бути орієнтовані під будь-яким кутом до осі Z. На рис. 5 показані напрямки петростатичного, тектонічного і сумарного стиснення гірських порід з

орієнтуванням тріщин, що утворюються в породах (зразок).

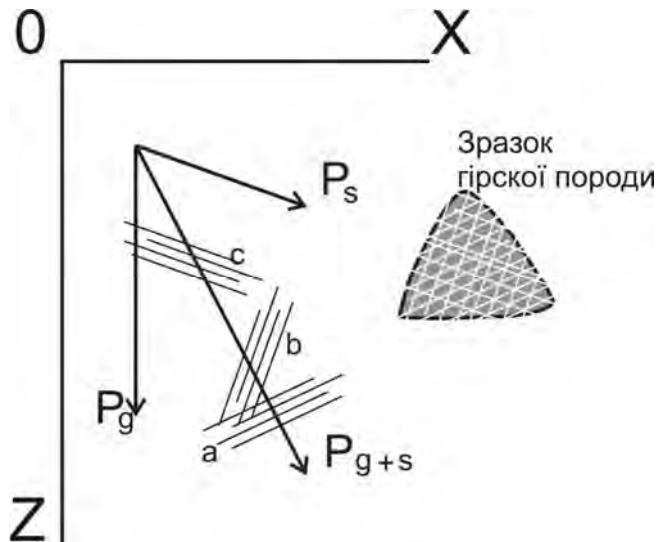


Рис. 5. Формування системи тріщин, що розділяють породи під дією сумарного петростатичного ( $P_g$ ) і тектонічного ( $P_s$ ) тисків на гострокутні фрагменти, поверхні яких орієнтовані перпендикулярно і під кутом  $45^\circ$  к ( $P_{g+s}$ ).

Залишкові сліди деформації в гірських породах призводять до утворення сланців, що мають сланцеву текстуру.

П'ятою метаморфічною подією є поява в гірських породах орієнтованих текстурних елементів – смуг, характерних для гнейсов.

Шостою метаморфічною подією служить утворення кристалічних сланців і геологічна історія завершується процесом утворення кварцитів і наростаючого в північному напрямку окварцювання порід вгору за течією р. Берда.

Мігматити в поєднанні з гранітами, гранітогнейсами, гнейсами, кристалічними сланцями утворюють великі тіла, що займають великі площі УЩ, Кольського півострова, Скандинавії, Канади, Австралії тощо. Тому не дивно, що досліджена авторами ділянка УЩ малої площі виявилася складеною породами одного віку.

Зроблена спроба спрощення геологічної будови на початковому етапі допустима, тим більше що в періоди активізації УЩ найвищі фонові глибинні температури припадали на Приазовський масив УЩ [2].

Форми деформування гірських порід, як пластичних (будінаж гнейсів і амфіболітів), так і розривних (тріщин і розломів) на площі робіт на даному етапі не аналізувався.

Висновки:

1. Протоліт – первинна порода (базальт), що утворилася при охолодженні мантийної речовини на поверхні.

2. Амфіболіт – найдавніший представник порід архею, що утворився при підігріві і стисненні первинного базальту.

3. Діорит – продукт диференціації амфіболіту в умовах слабого прояву петростатичного тиску.

4. Мігматити – продукти диференціації частково розплавленої маси субстрату в гравітаційному (літостатичному) полі.

5. Гнейси відрізняються формуванням в породах орієнтованих текстурних елементів – смуг різного кольору, як результат диференціації мінералів при спільному впливі теплового і гравітаційного полів.

6. Кристалічні сланці – результат розсланцювання порід під впливом сумарного петростатичного і тектонічного тиску.

7. Граніти – відокремлення і відособлення легкоплавкої складової протоліту.

8. Пегматити – результат процесів пульсуючої зміни температури з періодами стабілізації.

9. Кварцит – результат стиснення пластифікованих порід, збагачених кварцом.

10. Вік порід збільшується в ряду: кварц, кварцит, пегматит, граніт, кристалічні сланці, гнейс, мігматит, діорит, амфіболіт.

Контакти між геологічними тілами різних порід мають чіткі, різкі межі розділу. Їх походження носило фізичний механізм. Перенісши процес деформування зразка гіпсу, представленого на рис. 3, на деформування в умовах гравітаційного вертикального стиснення блоку порід з основою, розм'якшеною нагріванням, приходимо до пояснення механізму утворення субвертикальних несучільностей. При доповненні (накладенні) тектонічних тисків несучільності в середовищі могли утворюватися під кутами, що забезпечують полегшене переміщення уздовж суміщувача сусідніх блоків (рис. 5). Таким чином, можна зробити висновок, що різкі, чіткі межі між породами, наприклад, між амфіболітами і кристалічним сланцем утворювалися під впливом тектонічних рухів блоків в земній корі архейського віку. У результаті утворювалися стійкі сукупності геологічних тіл, які послужили первинними таксономічними одиницями – світами, що спостерігаються в УЦ, Кольському півострові, Скандинавії, Канаді та інших кратонах.

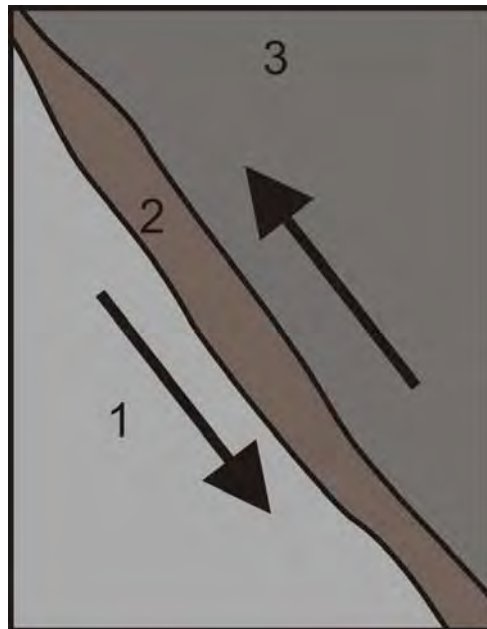


Рис. 5. Модель, що пояснює утворення різких геологічних меж

Геологічні тіла, що входять до світи, не розділені відносно один одного за часом утворення. Геологічні тіла, співвіднесені з числом метаморфічних подій, що їх сформували, дозволило дрібно розділити їх за відносним віком і розрізнити їх на геологічній карті за крапом і кольором.

Стислі терміни польових спостережень і дефіцит гірських компасів компенсовано використанням програми «Гірський компас». Перевага роботи з цим додатком полягає в тому, що він дозволяє визначити місце розташування точки спостереження, винести їх на карту, зробити опис, сфотографувати і зберегти. До недоліків слід віднести той факт, що у використаній версії додатка довгота і широта змінені місцями, а градусні одиниці наведені в десятковій системі. Згадані недоліки легко врахувати в роботі і додаток дав можливість підвищити продуктивність проведення польових робіт.

Для перенесення точок спостережень з пам'яті програми «Гірський компас» на топооснову, координатна сітка останньої вимагає підготовки. Сутність підготовки полягає в розбитті градусних шкал на хвилини, секунди і терції. Цю роботу легко виконати в програмі CorelDRAW. Фрагмент топооснови наведено на рис. 6. На неї винесено точку спостереження №19 з координатами: довгота  $6^{\circ}51'50''12'''$ , широта  $46^{\circ}50'50''10'''$ .



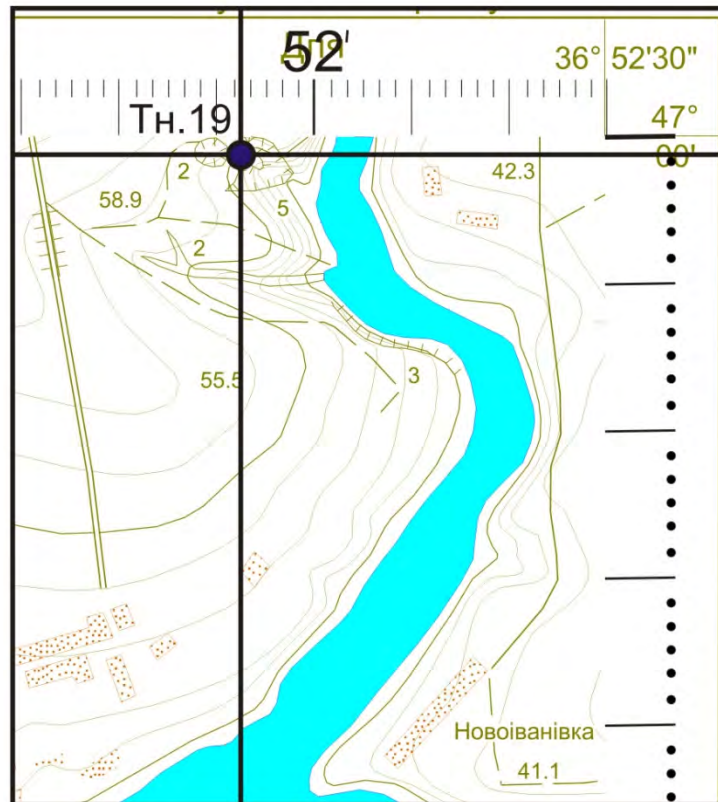


Рис. 6. Фрагмент топографічної карти з оцифруванням градусної шкали.

На топооснову виносилися точки спостереження з елементами залягання, і вона служила картою фактів, на якій від руки намічались геологічні кордони, що відокремлюють один від одного геологічні тіла. Карта фактів служила основою для побудови в програмі CorelDRAW геологічної карти.

#### 4. Висновки

1. У навчально-науковій експедиції (Західне Приазов'я) студенти закріпили теоретичний матеріал, отримали практичні навички ведення геологічних спостережень в польових умовах і документації спостережень.
2. Відібрано зразки порід і мінералів та оформлені колекції для навчального процесу.
3. Отримано досвід геологічного моделювання процесів, що призводять до утворення метаморфічних гірських порід.
4. Освоєно роботу з додатком «Гірський компас» і подальша обробка даних в програмі CorelDRAW.
5. У майбутніх навчально-наукових експедиціях слід досліджувати тектонічні прояви на даній ділянці та узгодити їх з викладеними міркуваннями.

#### References

1. Кратенко, Л.Я. (2005). Общая геология. Днепропетровск: НГУ.  
*Kratenko, L.Ia. (2005). Obshchaia heolohyia. Dnepropetrovsk: NHU.*
2. Гордієнко, В.В. Гордієнко, І.В., Завгородня, О.В., Логвінов, І.М., Тарасов, В.М. & Усенко, О.В. (2005). Український щит (геофізика, глибинні процеси). Київ: Корвін прес.  
*Hordiienko, V.V. Hordiienko, I.V., Zavhorodnia, O.V., Lohvinov, I.M., Tarasov, V.M. & Usenko, O.V. (2005). Ukrainskiy shchyt (heofizyka, hlybynni protsesy). Kyiv: Korvin press.*