

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ІВАНА ФРАНКА

**МЕТОДИ ВИВЧЕННЯ ОСАДОВИХ ПОРІД**

**методичні рекомендації до лабораторних занять і  
самостійної роботи студентів напрямку підготовки  
6.04.01.03 - геологія**

Львів - 2014

**Методи вивчення осадових порід:** методичні рекомендації до лабораторних занять і самостійної роботи студентів напряму підготовки 6.04.01.03 – геологія / укл.: В. Б. Степанов, І. В. Побережська, О. В. Костюк, І. Г. Гнатів – Львів: Львівський національний університет імені Івана Франка, 2014. – 64 с.

**Укладачі:** кандидат геолого-мінералогічних наук,  
доцент В. Б. Степанов  
кандидат геолого-мінералогічних наук,  
доцент І. В. Побережська  
кандидат геологічних наук О. В. Костюк  
зав. лабораторії І. Г. Гнатів

**Рецензент:** кандидат геолого-мінералогічних  
наук, доцент Л. В. Генералова

**Відповідальний за випуск:**  
доктор геолого-мінералогічних наук В. М. Гулій

**Редактор:** Лариса Сідлович

**Відповідальний за друк:** Олена Старунько

*Затверджено  
на засіданні методичної ради  
геологічного факультету  
Протокол № 8/1  
від 15 січня 2014 р.*

## ВСТУП

*Літологія, або петрографія осадових порід* – це фундаментальна геологічна наука про осадові утворення. Це, передовсім, осадки, осадові гірські породи, продукти кори звітрювання, ґрунти, осадові метасоматичні утворення тощо. Головними серед цих об'єктів є осадові гірські породи - *геологічно оформлені тіла, що утворилися на земній поверхні (або біля неї) під покривом атмо-, гідро- і біосфери з таких продуктів: руйнування материнських порід; вулканічних вивержень, життєдіяльності організмів, фізичних, фізико-хімічних, хімічних і біохімічних процесів технічної діяльності людини та космічного пилу за матеріальної участі води, повітря й органічної речовини.* Осадові утворення значно поширені на земній поверхні. Вони вкривають понад 75% території континентів і левову частку дна морів та океанів, а також утворюють верхню частину земної кори – *стратисферу* потужністю до 25 км. Більшість осадових утворень є цінними корисними копалинами або вміщують їх у собі. Ці утворення надзвичайно різноманітні за мінеральним і хімічним складом, структурно-текстурними особливостями, генезисом та іншими ознаками.

Сучасна літологія традиційно приділяє багато уваги розробці методів дослідження осадових порід і вдосконаленню випробуваних у часі методів вивчення осадових порід. Упродовж 1930-1950 рр. вийшли у світ праці великої плеяди вчених, серед яких: В. П. Батурина, Л. Н. Ботвінкіна, П. В. Васильєв, Н. Б. Вассоевич, Н. Е. Веденеєва, М. Ф. Вікулова, Н. А. Качинський, К. Б. Корде, А. Н. Криштофович, І. А. Преображенський, Л. В. Пустовалов, Л. Б. Рухін, С. Г. Саркісян, В. Б. Татарський, Г. І. Теодорович, А. В. Хабаков, М. С. Швецов та ін. У дослідженні цих вчених висвітлено різні грані методичних підходів до вивчення структур і текстур осадових порід, гранулометричного аналізу, вивчення глинистих мінералів тощо.

У 1956 р. завдяки літологам ГІН АН СРСР за керівництва академіка Н. М. Страхова опубліковано двотомну монографію «Методы изучения осадочных пород». У 1962 та 1969 рр. опубліковано «Атлас текстур і структур осадових порід» у двох томах. Підручник Н. В. Логвиненка «Петрография осадочных пород с основами методики исследования» мав кілька видань. Методи палеогеографічного аналізу розглядалися на сторінках робіт Н. Н. Верзіліна, В. І. Славіна, Н. А. Ясаманова та багатьох інших дослідників. На початку 1980-х років видано довідник із літології за редакцією Н. Б. Вассоевича, у якому значну увагу присвячено характеристиці методів і підходів у аналізі осадових порід. У 1986 р. виданий підручник «Методы определения осадочных пород» (автори Н. В. Логвиненко і Е. І. Сергеева). Сибірськими літологами у цей час опубліковано серію цікавих монографій, які об'єднала назва «Осадочные породы» (відп. ред. В. И. Бгатов), у яких обговорюється широкий спектр проблем класифікації осадових порід, наведено їх стислу та водночас інформативну характеристику; висвітлено текстурні особливості; типи розрізів і генезис; компонентний склад; систематику і опис

мінеральних видів піщаних порід. Значний внесок у пізнання загальних закономірностей формування осадових порід та розвитку методів їхнього вивчення зробили праці А. Б. Ронова. За останні роки у практиці літологічних досліджень застосовуються дані, отримані в результаті аналізу хімічного складу осадових порід, які дають змогу отримати нову і досить об'єктивну інформацію про головні параметри процесів осадконагромадження.

Усім цим питанням присвячені методичні вказівки до лабораторних робіт до курсу «Літологія».

## 1. Основні класифікації осадових порід

Осадові, магматичні та метаморфічні породи (Білоусов, 1974, 1985, 1987, Заварицький, 1955; Штейнберг, 1976; Казанський, 1986, 1987 та ін.), як і всі геологічні об'єкти (Класифікація, 1981; Неєлов, 1976; Маракушев, 1973 та ін.), можуть і повинні класифікуватися за різними об'єктивними та генетичними ознаками: крім мінерального і хімічного складу за структурами, текстурами, фізичними властивостями (міцністю, розмоканням, поруватістю, горючістю і т.д.), кольором, генезисом, корисними копалинами і т.д. Усе це окремі і цільові класифікації. Лише класифікація *за мінеральним складом* є базисною, тобто природною фундаментальною систематикою гірських порід, яка лежить в основі усіх інших класифікацій. Другою після мінерального складу важливою петрографічною ознакою гірських порід є їхня *структура*, тобто будова.

До класифікацій, заснованих не на безпосередньо фіксованих фактах або ознаках, а на тій чи іншій інтерпретації або на їх тлумаченні, відносять *генетичні*. Підрозділи в них відображають лише наші уявлення про способи й умови утворення порід або інших геологічних об'єктів, тому що геолог звичайно не може прямо спостерігати і вимірювати параметри геологічних процесів і фізико-географічних або фізико-хімічних умов їх формування. Він судить про них, наприклад, за збереженими літологічними ознаками, які називаються в цьому аспекті генетичними, тобто дає їх більш або менш вірогідну інтерпретацію, те чи інше тлумачення. Тому генетичні поняття і класифікації лише ймовірні та несуть риси більшої чи меншої суб'єктивності. За ними не можна проводити вивчення природних історичних об'єктів.

Отже, літолог, як і будь-який геолог, враховуючи новітні методологічні розробки (Кожара, 1984; Мейен, Шрейдер, 1976; Шарапов, 1966; Фролов, 1979; та ін.), повинен при вивченні створювати або мати готовими два типи класифікацій – морфологічні (наприклад, петрографічні) і генетичні – та професійно їх використовувати вже на самому початку дослідження.

Отже, загальні класифікації осадових порід такі (табл. 1-2):

Таблиця 1

**Класифікація осадових порід за М. С. Швецовим (1958) [20]**

Групи порід	Підгрупи і родини
Уламкові	Нормально-осадові Пірокластичні (ефузивно-осадові)
Глинисті	Глинисті
Хімічні та біохімічні	Глиноземисті (аліти) Залізисті (ферити) Марганцеві (манганоліти) Кременисті (силіцити) Карбонатні Фосфатні Сульфатні Галоїдні Органічні (каустобіоліти)

Таблиця 2

**Класифікація осадових порід, за В. Т. Фроловим (1992) [16]**

1	2
<b>I</b>	<b>Оксидні</b>
1	Акваліти, або водяні породи
2	Силіцити, або кремнієві породи
3	Манганоліти, або марганцеві породи
4	Феритоліти, або залізні породи
5	Аліти, або алюмінієві породи (боксити)
<b>II</b>	<b>Сольові</b>
6	Евапорити, або солі
7	Карбонатоліти, або карбонатні породи
8	Фосфорити, або фосфатні породи
<b>III</b>	<b>Органічні</b>
9	Каустобіоліти, або органогенні породи
<b>IV</b>	<b>Силікатні</b>
10	Глини, або глиняні (глинисті) породи

Якщо більше орієнтуватися на геологічну ознаку, а власне на частоту парагенетичних асоціацій і на зменшення геохімічної рухливості (у найбільш загальному вигляді), то розташування перших восьми груп у другій класифікації буде трохи іншим:

- |                  |                  |
|------------------|------------------|
| 1. Акваліти      | 7. Фероліти      |
| 2. Евапорити     | 8. Аліти         |
| 3. Карбонатоліти | 9. Каустобіоліти |
| 4. Фосфорити     | 10. Глини        |
| 5. Силіцити      | 11. Кластоліти   |
| 6. Манганоліти   |                  |

Цей варіант класифікації більше відображає генетичну близькість і частоту парагенетичних співзнаходжень, ніж перший, і в цілому показує перехід від більш однорідних і рівноважних (до середовища утворення) до все більш неоднорідних, змішаних, нерівноважних і малорухомих природних утворень. У першій схемі парагенетична сторона виражена у досить загальній формі, але весь ряд виявляється більш струнким і логічним, що є результатом послідовного застосування системної ознаки (мінерального складу) не лише при виділенні, але й при розташуванні за нею виділених порід.

#### **Кластоліти або уламкові кварц-силікатні породи**

Уламкові гірські породи відрізняються переважанням уламкового компонента (алотигенного матеріалу), який існував до утворення осаду та опинився у ньому в результаті звітрювання материнських порід.

В уламкових породах важливим є гранулометричний склад, який визначає фізичні властивості і приймається за основу класифікації цих порід. Вивчення гранулометричного складу породи проводять шляхом розділення складових її зерен на класи (фракції) за розміром і встановлення процентного вмісту кожної фракції.

В основу класифікації уламкових порід покладено розмір частинок, наявність цементу і мінеральний склад.

За розміром уламків уламкові породи поділяють на:

- грубоуламкові (псефітові) - діаметр більше 2 мм;
- піщані (псамітові) – діаметр 2 – 0,05 мм;
- пилуваті (алевритові) – діаметр 0,05-0,005 мм;
- глинисті – пелітові – діаметр менше 0,005 мм.

У кожній структурній групі виділяють породи пухкі та зцементовані. У грубоуламкових породах враховується також форма уламків (табл. 3).

Таблиця 3

**Гранулометрична класифікація уламкових порід,  
за В. Т. Фроловим (1992) [16 ]**

Діаметр, см	Породи			
	пухкі		зцементовані	
	<i>обкатані</i>	<i>кутуваті</i>	<i>обкатані</i>	<i>кутуваті</i>
1	2	3	4	5
>20	Валуни	Брили	Конгломерат валунний	Брекчія брилова
20 – 10	Галька крупна	Щебінь крупний	Конгломерат крупногальковий	Брекчія крупна
10 – 5	Галька середня	Щебінь середній	Конгломерат середньогальковий	Брекчія середня
5 – 1	Галька дрібна	Щебінь дрібний	Конгломерат дрібногальковий	Брекчія дрібна
1,0 – 0,5	Гравій крупний	Жорства крупна	Гравеліт крупнозернистий	Жорствяник крупнозернистий
0,5 – 0,2	Гравій дрібний	Жорства дрібна	Гравеліт дрібнозернистий	Жорствяник дрібнозернистий
<b>Середньо-дрібноуламкові (піщані й алевритові )</b>				
2 – 1	Пісок грубозернистий		Пісковик грубозернистий	
1 – 0,5	Пісок крупнозернистий		Пісковик крупнозернистий	
0,5 – 0,25	Пісок середньозернистий		Пісковик середньозернистий	
0,25 – 0,1	Пісок дрібнозернистий		Пісковик дрібнозернистий	
0,1 - 0,05	Алеврит крупнозернистий		Алевроліт крупнозернистий	
0,05 – 0,01	Алеврит дрібнозернистий		Алевроліт дрібнозернистий	
<0,01	Глина ( пеліт)		Аргіліт	

Уламкові породи поділяють і за складом головних компонентів уламкової складової:

- мономінеральні (мономіктові) – складені на 90% уламками одного мінералу або породи;
- олігоміктові – порода складена уламками двох різних мінералів або порід із різким переважанням одного;
- мезоміктові – порода складена уламками двох різних мінералів або порід в однакових кількостях;
- полімінеральні (поліміктові) – породи складені уламками різних мінералів і порід;

### **Піщані породи (псаміти)**

До піщаних порід відносять піски (пухкі) і пісковики (зцементовані).

Гранулометричний склад піщаних порід – визначається шляхом пересіювання на стандартному наборі сит і підрахунку зерен різної розмірності.

Піщані породи складаються з уламкових і аутигенних мінералів (у переважній більшості це глауконіт) і компонентів. Уламкові – кварц, польові шпати, слюди, уламки порід.

Глауконіт не є уламковим мінералом, оскільки він утворюється у басейні седиментації, хоч нерідко виявляється перемитим (перевідкладеним). Останнє, а також його структурне положення (він разом з іншими уламковими мінералами утворює каркас породи, стосовно якого цемент є вторинним), дозволяє розглядати його разом з уламковими компонентами.

Вторинні й акцесорні мінерали піщаних порід найчастіше представлені магнетитом, ільменітом, цирконом, рутилом, гранатом, турмаліном, апатитом, епідотом. Іноді трапляються піроксени, амфіболи, кіаніт, силіманіт, корунд.

Аутигенні мінерали складають цемент пісковиків, і за мінеральним складом цемент може бути глинистим, карбонатним, кременистим, залізистим та ін. Багато пісковиків містить домішку органічної речовини, вуглистої або бітумінозної.

У хімічному аспекті піщані породи характеризуються високим вмістом кремнезему.

Головні компоненти уламкової складової піщаних порід, за якою вони класифікуються, - це кварц, польові шпати, уламки гірських порід.

Мономінеральні піски і пісковики – кварцові, польовошпатові, глауконітові та ін.

Олігоміктові та мезоміктові – кварц-польовошпатові, глауконіт-кварцові та ін.

Полімінеральні піщані породи представлені аркозовими та грауваковими пісковиками.

У складі мономінеральних і багатьох олігоміктових порід зазвичай переважає кварц

– до 80-99%. Також трапляються пісковики, на 80-97% складені з польових шпатів, і пісковики, на 90% складені глауконітом.

Аркозові пісковики – представлені продуктами руйнування гранітів і гнейсів, містять кварц, польові шпати, слюдисті мінерали, можуть траплятися уламки порід, цемент найчастіше представлений гідрослюдами, каолінітом, карбонатами (рис. 1).

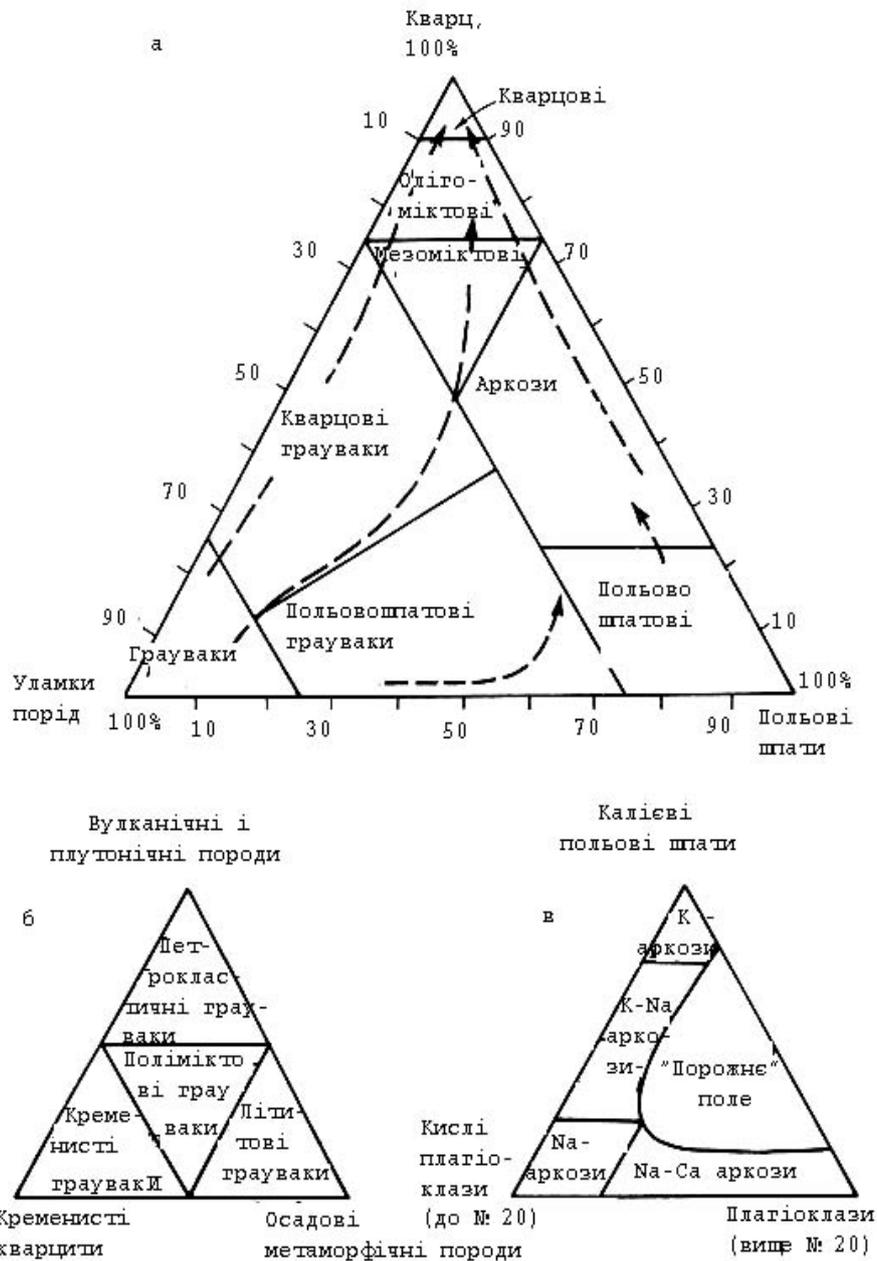


Рис. 1. Трикутні діаграми мінерального складу піщаних і алевритистих порід, за В. Н. Швановим (1987) [19]

Граувакові пісковики – поліміктові пісковики, складені уламками різних порід, кварцу, польових шпатів, слюдистих мінералів. Для них характерна слабка обкатаність уламків, а також погане сортування за гранулометричним складом. Цемент поліміктовий. Структура нерівномірно-зерниста. Текстура неупорядкована або грубошарувата.

Цементом слугують глинисті мінерали, а також продукти зміни уламкових зерен – серицит, хлорит, цеоліти тощо.

Аркозо-граувакові пісковики – це породи, у складі яких кварц, польові шпати і уламки порід є у кількості більше 20% кожного компонента.

Структури піщаних порід за розміром зерен – псамітові, псамо-псефітові, псамо-алевритові, псамо-пелітові. Текстури – шаруваті – скісно-, горизонтально-шаруваті, діагонально-хвилясті.

У 60% розвіданих родовищ світу поклади нафти і газу приурочені до піщаних колекторів.

#### **Алевритові породи**

Алевритові породи містять більше як 50% частинок алевритової розмірності, тобто 0,05–0,005 мм. Вони поділяються на крупнозернисті з розміром частинок 0,05–0,025 мм, середньозернисті 0,025 – 0,01 мм, та дрібнозернисті 0,01-0,005 мм. Колір порід звичайно сірий, темно-сірий, бурувато-сірий, зеленкувато-сірий.

**Алеврити** – пухкі, неуцільнені породи. Характеризуються поліміктовим складом, кількість пелітового матеріалу може сягати 30-50%.

**Алевроліти** – щільні, зцементовані породи з алевритовою, алевро-пелітовою та пелітовою структурами. Зернистість алевролітів видно під мікроскопом. На відміну від піщаних порід, алевроліти складені уламками гострокутної форми, і характеризуються більш тонкою шаруватістю. Уламкова складова поліміктових алевролітів представлена кварцом, слюдами, глауконітом, хлоритом, уламками порід. Часто присутня вуглиста речовина. Цемент за складом зазвичай глинистий, карбонатний, залізистий, кременистий, фосфатний.

#### **Глинисті породи – пеліти**

Глинисті породи – це тонкодисперсні породи, які містять більше 50% частинок розміром менше 0,005 мм.

Глини – зв'язані породи, яким властива пластичність за умов водного насичення та затвердіння при спіканні. До складу глинистих порід входять як реліктові (уламкові) мінерали – кварц, польові шпати, мусковіт тощо, так і сингенетичні мінерали – глинисті (табл. 4, рис. 2), карбонатні, окисні, гідроокисні, сульфідні, фосфатні, сульфатні. Під час опису глинистої породи наводиться процентний вміст алевритової розмірності, вмісту пелітової розмірності та глинистих мінералів.

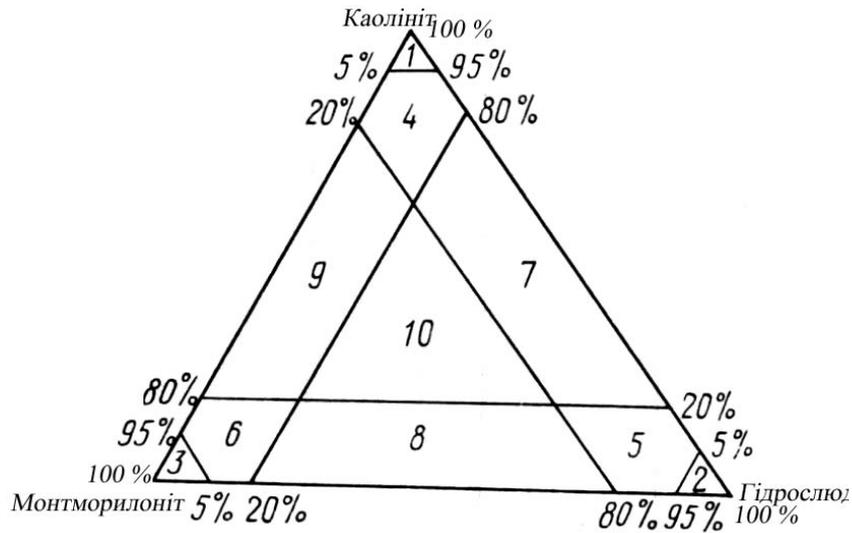


Рис. 2. Трикутна діаграма мінерального складу глинистих порід, за М. В. Логвиненком, 1984 [7]: *мономінеральні*: 1 – каолінітові; 2 – гідрослюдисті; 3 – монтморилонітові; *перехідні*: 4 – гідрослюдистокаолінітові; 5 - каолінітово-гідрослюдисті; 6 - гідрослюдисто-монтморилонітові; *полімінеральні*: 7 - монтморилоніт-гідрослюдисто-каолінітові; 8 - каолініт-гідрослюдисто-монтморилонітові; 9 - гідрослюдисто-каолініт-монтморилонітові; 10 - породи змішаного складу, де вміст кожного компонента понад 20%.

:

Таблиця 4

## Класифікація глинистих мінералів (за Л. Г. Рекшинською, 1966) [16]

Показник	Ш а р у в а т а								Шарувато-стрічкова
	1 : 1	1 : 2			1 : 1 : 1			2 : 1	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Група	I. Каолініту - серпентину	II. Пірофіліту-тальку	III. Слюд	IV. Вермикуліту	V. Сметиту (монтморилоніту сапоніту)	VI. Хлориту	VII. Змішано-шаруватих	VIII. Палигорськиту сепіоліту	
Заряд шару	0	0	0,7 - 1,0	0,6 - 1,0	0,6 - 1,0	Змінюється	Змінюється	Змінюється	
001 (А)	7,2	9,2	10,0	14,5	12,5-15,5	14		10,5 і 12,3	
Діоктаедричні мінерали	Підгрупа каолініту Каолініт Дикіт Накрит Галуазит Аноксит	Підгрупа пірофіліту	Підгрупа нормаль-них слюд Мусковіт Парагоніт Фенгіт	Підгрупа діоктаедричного вермикуліту	Підгрупа монтморилоніту Монтморилоніт Нонтроніт Волконської Бейделіт	Підгрупа діоктаедричного хлориту Донбасит Судоїт Кукеїт Тосудит	Підгрупа впорядкованих Ректорит (слюда-монтмори-лоніт) Коренсит (хлорит-сапоніт)	<i>Палигор-ськіт</i> $d_{110}=10.5$ А стрічка із двох ланцюжків  <i>Сепіоліт</i> $d_{110}=12.3$ А стрічка із трьох ланцюжків	

Закінчення табл. 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
			Підгрупа				Підгрупа	

			крихких слюд Маргарит Підгрупа гідрослюд Іліт Серицит Глауконіт				неупорядко-ваних слюда – смектит Смектит – хлорит Каолініт – смектит Каолініт - слюда Хлорит - вермикуліт Слюда - хлорит- смектит та інші	
Заповнення октаєдрів	Підгрупа серпентину Хризотил Антигорит Лізардит	Підгрупа тальку	Підгрупа нормальних слюд Флогопіт Біотит	Підгрупа триоктаєдрично-го вермикуліту	Підгрупа сапоніту Сапоніт Гекторит Цинвальдіт Медмонтит	Підгрупа триоктаєдрич- ного хлориту Пенін Клінохлор		
Триоктаєд- ричні мінерали	Підгрупа бартьєрину Бартерин Кронштетит Тюрингіт Гриналіт Амезит		Підгрупа гідрослюд Гідро біотит Підгрупа крихких слюд Клінтоніт			Підгрупа шамозиту Шамозит		

Класифікація глин базується на мінералогічному складі цих порід (табл. 5 і 6).

Таблиця 5

**Класифікація глин за мінеральним складом,  
за В. Т. Фроловим, 1992 [16]**

<b>Мономінеральні й олігоміктові</b>	<b>Мезоміктові й поліміктові</b>
Каолінітові (каоліни)	Каолініт-гідрослюдисті
Монтморилонітові	Гідрослюда-сметитові
Гідромусковітові (серицитові)	Сметит-гідрослюдисті
Глауконітові	Хлорит-сметитові
	Хлорит-гідрослюдисті
Нонтронітові	Гідробіотит-вермикуліт-глауконітові
Серпентинові	-
Палигорськітові	Каолініт-хлорит-гідрослюдисті
Сепіолітові	-
Волконськоїтові	Палигорськіт-монтморилонітові та ін.

Структура глинистих порід візуально пелітова, тобто порода незерниста, ніби безструктурна (порода „суцільна”, землиста), або залежно від помітного (більше 10%) вмісту домішок – алевро-пелітова, псамо-пелітова, фіто-пелітова (за участю рослинних решток) і т.д.

Текстура нешарувата, шкаралупувата (через прояв колоїдних сил) і шарувата. Шаруватість тонка міліметрова, або субмікроскопічна, а також листувата, дрібношарувата сантиметрова і рідко більш груба. Звичні кучеряві (дія коренів рослин) і зсувні текстури, а в сланцях – сланцюватість і кліваж.

Таблиця 6

**Класифікація глинистих порід за Ю. П. Казанським, 1987 [6]**

Мінеральна група	Тип глин		
	Основний	Складний	Змішаний
Каолінітова	Каолінітові та галуазитові	Галуазито-каолінітові	Глини і аргіліти каолініт – монтморилоніт – хлорит-гідрослюди-стого складу, глини і аргіліти з цеолітами, хлорит-гідро- слюдисті, гідрослюди-стого –
Монтморилонітова	Монтморилонітові і нонтронітові	Нонтроніто-монтморилонітові	
Палигорськітова	Палигорськітові і сепіолітові	Сепіоліто-палигорськітові тощо	
Гідрослюди-стого	Гідрослюди-стого		
Глауконітова	Глауконітові		
Хлоритова	Хлоритові		
Вермикулітова	Вермикулітові		

Алофанова	Алофанові		пірофілітові, хлорит– гідрослюдиисто- хлоритоїдні аргіліти, тощо
-----------	-----------	--	------------------------------------------------------------------------------

### Карбонатні породи

Карбонатні породи складені карбонатом кальцію, магнію, заліза, мангану, за вмісту карбонатного матеріалу не менше 50%. Породи утворюють пласти, лінзи, конкреції. Іноді залягають у вигляді товщ потужністю сотень і тисяч метрів. Головні мінерали – кальцит, доломіт, арагоніт, сидерит, магнезит. Серед домішок присутні глинисті мінерали, уламкові частинки, сульфіді і окисли заліза, залишки обвугленої речовини. Важливими породотвірними компонентами карбонатних порід є органічні залишки – форамініфери, моховатки, корали, криноїдеї, брахіоподи, вапнякові водорості тощо. Найхарактерніші представники групи карбонатних порід – вапняки, доломіти і породи змішаного складу.

Структури уламкових карбонатних порід: псефітові (більше 1 мм), псамітові (0,1-1,0 мм), алевритові (шламові) – 0,1-0,05 мм, тонкозернисті (спарит) – 0,05 – 0,005 мм, пелітоморфні (мікрит) – менше 0,005 мм. Кристалічно-зернисті структури: мікрокристалічні від 0,1 до 0,25 мм, середньокристалічні – 0,25-0,5 мм, крупнокристалічні – 0,5-0,01 мм, тонкозернисті – 0,1-0,05 мм, дрібнозернисті – 0,05-0,01 мм, пелітоморфні – менше 0,01 мм. Виділяються структури – органогенні (цільносkeletalні й детритові), а також оолітові, сферолітові тощо.

Текстури карбонатних порід шаруваті, плямисті, оолітові, брекчієподібні, конгломератові, стилітові тощо. У перекристалізованих вапняках структури масивні.

Карбонатні породи поділяють за мінеральним, хімічним складом і фаціальними особливостями формування (табл. 7-8, рис. 3).

Серед класифікацій карбонатних порід, які дають підстави зробити висновки щодо умов накопичення, користуються популярністю класифікації Р. Данхема і Р. Фолка.

За Р. Фолком тип карбонатної породи визначається пропорціями головних складових компонентів – алохімічних (каркасних) і ортохімічних (цемент або матрикс). Цемент породи буває мікрокристалічний мікрит і кристалічний (спарит). Типи порід отримують назву за поєднанням типу частинок і цементу.

Таблиця 7

### Класифікація карбонатних порід, збагачених теригенним матеріалом

Порода	Карбонати, %	Теригенна частина
--------	--------------	-------------------

		%
Вапняк (доломіт)	95-100	5-0
Алевритистий (піщанистий) вапняк (доломіт) з гравієм (з гальками)	75-95	25-5
Алевритовий (піщаний, гравійний, гальочний) вапняк (доломіт)	50-75	50-25
Вапняковистий (доломітовий) алевроліт (пісковик, гравеліт, конгломерат)	25-50	75-50
Вапняковистий (доломітистий) алевроліт (пісковик, гравеліт, конгломерат)	2-25	95-75
Алевроліт (пісковик, гравеліт, конгломерат)	0-5	100-98



Рис. 3. Класифікація карбонатних порід С. Г. Вишнякова [17]:

П – пісковик (пісок); Г – глина; М – мергель; Вапн. – вапняк; Д – доломіт; гл – глинистий; вапнист. – вапняковистий; долом. – доломітистий

За умовами утворення виділяють уламкові, біогенні, хемогенні і перекристалізовані породи. За мінеральним складом кальцитові (вапняки), доломітові (доломіти) і змішаного складу.

Уламкові карбонатні породи – вапнякові, доломітові конгломерати, брекчії, пісковики, алевроліти.

Біогенні – рифові вапняки, черепашники, крейда, водоростеві вапняки, водоростеві доломіти.

Хомогенні – доломіти і вапняки мікрозернисті, пелітоморфні, оолітові, псевдооолітові, вапнякові туфи, сульфатно-карбонатні породи – ангідрито-доломіти, кременисті доломіти і вапняки.

Змінені (перекристалізовані) – доломіти і вапняки кристалічно-зернисті, мармуризовані, доломітизовані вапняки.

Класифікація карбонатних порід, за Р. Ж. Данхемом [17]

Первинно-осадову структуру можна розпізнати			Первинні компоненти були скріплені під час відкладання (це зростання скелетних залишків, шаруватість, яка не підпорядкована силі тяжіння; наявність порожнин, вистелених осадом і перекритих органічними або припустимо органічними залишками, які розміром перевищують міжгранулярні пори)	Первинну структуру не можна розпізнати. Кристалічний карбонат (розділяють відповідно до класифікації метаморфізованих порід і структур)
Первинні компоненти не були скріплені під час відкладання		Порода не містить мулу і складається із зерен, що опираються одне на одне		
Порода містить мул (частинки пелітового або дрібноалевритового розміру)				
Опорою породи є мул	Зерна опираються одне на одне			
Зерен менше 10%	Зерен більше 10%	<i>Грейнстоун</i>	<i>Баундстоун</i>	
<i>Мадстоун</i>	<i>Вакстоун</i>			
		<i>Пакстоун</i>		

## 2. Основні лабораторні методи дослідження осадових порід

Існує кілька напрямів лабораторних досліджень осадових порід. Це, по-перше, визначення їх речовинного (мінералого-петрографічного складу), що є необхідним для точного вивчення породи, з'ясування генезису та можливостей практичного застосування; по-друге, дослідження хімічного складу і вмісту елементів - домішків; по-третє, вивчення фізичних властивостей порід. Останнє є важливим для пошуків і розвідки нафтових та газових родовищ, а також у проведенні оцінки про фільтраційні й несучі властивості порід за умови здійснення гідрогеологічних та інженерно-геологічних досліджень. У розділі головна увага звертається на гранулометричний аналіз піщаних і глинистих порід, розділенню мінералів на фракції,

Під час вивчення уламкових і глинистих порід важливу роль відіграє гранулометричний аналіз, який подає точну кількісну характеристику структурного типу породи [14]. Інтерпретація даних гранулометричного аналізу дає підстави робити висновки про умови нагромадження осадків. Необхідність гранулометричного аналізу визначається також тим, що завдяки цьому є можливість розділити породу на складові фракції за розміром зерна, а це можна використати для подальшого мінералого - петрографічного дослідження.

Важливе значення у дослідженнях уламкових порід відіграє імерсійне вивчення піщано-алевритової фракції (0,25-0,01 мм) з попереднім її розділенням на важку та легку фракції.

Імерсійне вивчення акцесорних мінералів важкої фракції використовується для кореляції теригенних товщ і у ряді випадків для реконструкції палеогеографічних обстановок нагромадження осадів і моніторингу складу порід на палеоводозборах.

Для глинистих порід необхідним є дослідження фракції  $< 0,001$  мм. Діагностика мінерального складу субколоїдної та колоїдної фракції уламкових порід здійснюється комплексом взаємодоповнюючих один одного спеціальних методів: вивчення оптичних констант орієнтованих агрегатів (світлозаломлення, двозаломлення); забарвлення органічними барвниками з подальшою спектрофотометрією тощо.

Важливу роль відіграють також дані електронно-мікроскопічного, електроннографічного, рентгенографічного і термічного досліджень. У деяких випадках перелічені методи застосовуються безпосередньо для дослідження усєї породи загалом, без попереднього виділення з неї фракції  $< 0,001$  мм.

Особливу роль у вивченні осадових порід відіграє визначення їхнього хімічного складу. Головними завданнями у цьому є: 1) визначення співвідношень головних породотвірних окислів; 2) кількісне визначення цих мінералів (особливо малопоширених), які дослідник бачить у породі, проте затрудняється оцінити кількісно; 3) кількісне визначення малих елементів і речовин, які не піддаються визначенню за мінералого-петрографічними методами. Водночас хімічне вивчення осадових порід дає

зможу розв'язати низку генетичних задач, наприклад, визначення солоності давніх водойм, оцінки стану рН і Eh палеобасейнів, реконструкція клімату на палеоводозборах тощо [14]. Однак ці методи не можуть замінити мінералого-петрографічного вивчення порід, а хіба що доповнити його.

З наведеного стислого огляду можна зробити висновок про те, що у кожному конкретному випадку підбір раціонального комплексу методів дослідження осадової породи має визначатися відповідно до завдань досліджень, які проводяться [3]. Власне тут необхідно враховувати особливості речовинного складу породи і можливості аналітичних методів дослідження.

Тому доцільно починати вивчення породи в цілому з опису шліфів, послідовно застосовуючи окремі компоненти й особливості будови порід, згодом складових мінералів і, нарешті, хімічних елементів та ізотопів. У разі масового дослідження осадових порід застосовують, головню, вивчення шліфів та імерсійний метод, які залежно від конкретних завдань можуть доповнюватися вивченням орієнтованих препаратів глинистих мінералів, хімічним, термічним і рентгенівськими аналізами.

Електронно-мікроскопічні дослідження проводяться зазвичай вибірково для невеликої кількості найбільш типових зразків [3].

## **2.1. Гранулометричний аналіз псамітових і алевролітових порід**

Гранулометричний (*гранула* – зерно, *метро* – міряю) аналіз полягає у визначенні в породі кількісного (у вагових процентах) співвідношення зерен (уламків) різних розмірів шляхом розділення їх на фракції (фракція – сукупність однакових зерен або частинок).

Гранулометричний склад теригенних порід залежить від багатьох факторів: мінеральний склад материнських порід, кліматична обстановка, умови перенесення і нагромадження уламкового матеріалу, гідродинамічна активність середовища осадконагромадження та подальша дезінтеграція уламкового матеріалу [3]. Залежно від здатності поєднання всіх цих факторів, в одному випадку осадконагромадження виникає з частинок більш-менш однорідного гранулометричного складу, а в іншому – супроводжується нагромадженням частинок широкого діапазону величин. Відомо, що кількісне співвідношення частинок різних фракцій у породі визначає її пористість, об'єм, проникність, ступінь прояву капілярних сил тощо. Тому, є необхідність використання надійного методу вивчення гранулометричного складу осадових порід.

### **Дезінтеграція породи та видалення цементу**

У разі проведення гранулометричного аналізу зцементованих уламкових порід необхідно провести попереднє розм'якшення породи і видалення цементу.

Перед тим як підбирати спосіб для проведення обробки породи, необхідно переглянути шліф, визначити розмір зерен і мінеральний склад цементу.

Наступна дезінтеграція і видалення цементу відбуваються за допомогою різноманітних реактивів: 5-10% HCl без нагрівання (для порід із кальцитовим цементом), 5-10% HCl з нагріванням (для порід із доломітовим і сидеритовим цементом), 10-20% HCl з кип'ятінням (для порід із гідроокислів заліза), 10% розчином HNO<sub>3</sub> з кип'ятінням (для порід із цементом сульфідів заліза), розчином їдких лугів (5-10% KOH або NaOH) з кип'ятінням (для порід із кременистим цементом). Проте всі ці реактиви (особливо міцна соляна кислота, азотна кислота і їдкі луги) розчиняють не лише цемент, але й багато уламкових мінералів. Тому доцільно використовувати більш «делікатні» методи обробки, наприклад, обробку породи оцтовою кислотою (5-7% розчин), причому в разі наявності карбонатного цементу без нагрівання або легкого нагрівання на водяній бані; залізистого цементу – з підігрівом. Кремений опаловий цемент можна видалити слабким розчином їдкого лугу (1-2% KOH) без підігріву. Породи з глинистим і гіпсовим цементом можна обробити у дистильованій воді з підігріванням.

Існують інші методи дезінтеграції: просочування породи розчинами різних солей (наприклад, гіпосульфїту), почергового нагрівання та різкого охолодження (опусканням у холодну воду) тощо. Проте всі ці методи є недостатньо ефективними. Деколи позбутися цементу породи не вдається жодними реактивами. Якщо дезінтеграція породи неефективна або неможлива, слід проводити просте механічне подрібнення до розміру зерна переважаючої фракції породи (визначається у шліфі).

#### **Методи гранулометричного аналізу**

Існують різноманітні методи гранулометричного аналізу [15]. Механічний аналіз, загалом, використовується у геології, ґрунтознавстві, автодорожній і будівельній справі, у вивченні донних відкладів морів, озер тощо.

У кожному окремому випадку метод механічного аналізу підбирають відповідно до цілей і завдань досліджень.

Найпростішим способом розділення породи на фракції є ситовий аналіз [7]. Ситовий аналіз використовують у проведенні гранулометричного аналізу незв'язаних або слабозцементованих гравійних, гравійно-піщаних, піщаних, піщано-алевритових порід. Для проведення аналізу використовується стандартний набір сит з отворами 10, 7, 5, 3, 2, 1, 0,5; 0,25; 0,1 мм. Зразок породи (у разі вивчення гравійно-піщаних чи алевро-піщаних порід, вага вихідної наважки може становити 0,5-2 кг) ретельно розпушують гумовим пестиком, далі методом квартування здійснюють відбір наважки і висипають у колонку сит. Колонку сит трясуть доти, поки крізь них не пройдуть частинки з діаметром, меншим від діаметра отворів сита. Фракція, що залишилася на кожному ситі, зважується на технічних вагах і за формулою (1)

$$x = \frac{A \times 100}{B}, \quad (1)$$

(де:  $x$  - процентний вміст фракції в породі;  $A$  - маса фракції,  $B$  – загальна маса наважки) вираховується процентний вміст кожної розмірної фракції у наважці.

Просіювання на ситах здійснюють вручну або на спеціальних пристроях-ротапах. Час просіювання змінюється від 15-20 хв за умов ручного режиму до 10 хв у разі використання ротапу. За наявності у зразку великої кількості глини весь аналіз проводять у воді. Наважку засипають у фарфорову чашку, заливають водою і ретельно розтирають гумовим пестиком. Згодом наважку з водою пропускають крізь кожне сито окремо.

Часто для гранулометричного аналізу використовують метод, який полягає у комбінуванні розсіювання і відмучування. Цей метод ми і розглянемо на конкретному прикладі.

#### Хід аналізу :

1) Взяти наважку підготованої породи на лабораторних вагах.

2) В широкогорлу колбу (1л, 0,5 л), краще конічну, перенести наважку породи, додати 250-300 мл дистильованої води і 20 мл 2,5%-ного розчину бікарбонату натрію ( $\text{NaHCO}_3$ ). Суміш добре розбовтати і кип'ятити на піщаній бані 1 год. Під час бурхливого кипіння піщинки труться одна об одну і пеліт відтирається від піску. Розчин соди слід додавати для створення лужного середовища, в якому частинки пеліту після остигання суміші не прилипають знову до зерен піску, а зависають у розчині.

3) Після охолодження суміші проводять відмучування (відокремлення муті) пеліту. Для цього суміш із колби за допомогою промивача повністю перенести у велику фарфорову чашку і в ній гумовим корком відтерати пеліт від піску й алевриту. Верхній мутний шар розчину в чашці злити у великий скляний стакан. Породу знову відтерти корком, залити чистою водою, перемішати і мутний верхній шар знову злити в стакан. Цю процедуру повторювати доти, поки шар води над піском у чашці не стане чистим і прозорим. Відтертий пісок перенести в маленьку чашку і поставити сушити в сушильну шафу при температурі не більше  $90^{\circ}\text{C}$ .

Власне відмучування проводять у стакані, на якому нанесено мітки на відстані 6 см одна від одної. За формулою Стокса (2):

$$V_s = \frac{2}{9} \times \frac{(\rho_p - \rho_f)}{\mu} g R^2 \quad (2)$$

де:  $v_s$  – швидкість осадження частинок, м/с;

$\rho_p$  – густина частинок,  $\text{кг/м}^3$ ;

$\rho_f$  - густина рідини,  $\text{кг/м}^3$ ;

$g$  – прискорення вільного падіння,  $\text{м/с}^2$

розраховано, що за 10 хв у стовпі води висотою 6 см осідають всі частинки піску й алевриту, а пеліт залишається завислим у воді. Отже, осідання піску у стовпі води висотою 12 см у нашому випадку (між верхньою і нижньою міткою) відбудеться за 20 хв. Для відмучування об'єм мутного розчину в стакані довести водою до верхньої мітки,

залишити відстоюватися і через 20 хв злити розчин до нижньої мітки (за допомогою шланга у 20-літровий бутель). У стакан знову залити воду до верхньої мітки і повторити всю процедуру. Так повторювати доти, поки через 10 хв після чергового заливання води шар розчину між верхньою і наступною мітками не стане цілком прозорим, тобто поки повністю не відмиється пеліт. У цьому разі ще через 15 хв (всього через 25 хв після заливання води) максимально злити воду з стакана. На дні у стакані залишиться відтертий від пеліту алеврит і пісок. Осад із стакана перенести в чашку до відмитого піску і висушити в сушильній шафі. Висушену пробу зважити. Різниця між наважкою породи, взятої для аналізу, і вагою висушеної проби буде вагою пеліту (3).

$$P_{пел} = P_{нав} - P_{вис} \quad (3)$$

Пеліт у бутлі відстоюється не менше 1 доби, тоді воду злити, пеліт зібрати в чашку і висушити за  $t = 30-35^{\circ}\text{C}$ . Пелітова фракція йде на рентгеноструктурний аналіз, а відмита від пеліту порода проходить ситовий аналіз, тобто просіюємо її через систему сит №№ від 2 до 0,1 (отвори діаметром 2, 1, 0,5, 0,25, 0,1 мм). Якщо є багато крупної породи на ситі №2, то ще просіяти через сита № 3, 4, 5. А якщо в породі є багато глини, тоді зробити ще її гранулометричний аналіз.

Після просіювання породи на ситах отримуємо фракції з певним діаметром зерна. Кожну фракцію зважити і розрахувати її процентний вміст.

**Позначення розмірів фракцій:**

> 2, або 3 – 2, або +2 – на ситі № 2

2 – 1, або +1 – на ситі № 1

1 – 0,5, або +0,5 – на ситі № 0,5

0,5 – 0,25, або +0,25 – на ситі № 0,25

0,25 – 0,1, або +0,1 – на ситі № 0,1

0,1 – 0,01, або +0,01 – після сита № 0,1

0,01, або +0,001 – пеліт.

Розмір зерна більше 1 мм – гравій;

від 1 до 0,1 – пісок ;

0,1 – 0,01 мм – алеврит;

менше 0,01 мм – пеліт.

4) Оформлення результатів аналізу.

Результати гранулометричного аналізу можна оформити у вигляді таблиці.

Наприклад, табл. 9:

Таблиця 9

Результати гранулометричного аналізу

Розмір зерен	+2	+1	+0,5	+0,25	+0,1	+0,01	< 0,01	Сума
--------------	----	----	------	-------	------	-------	--------	------

(фракції) в мм								
Вага фракції (в г)	0,5	1,5	18	20	4	3,5	2,5	50
Вміст фракції (в %)	1	3	36	40	8	7	5	100

За даними, отриманими при проведенні гранулометричного аналізу, зазвичай будують циклограми, гістограми і криві розподілу, кумулятивні криві, трикутні діаграми.

**Гістограми**, або стовпчасті діаграми, зображають у вигляді стовпчиків-прямокутників, основи яких пропорційні до розміру фракцій, а висоти – до їхнього вмісту в породі (рис. 4). Для побудови стовпчастих діаграм на осі абсцис відкладають розміри фракцій у мм, а по осі ординат процентний вміст фракцій.

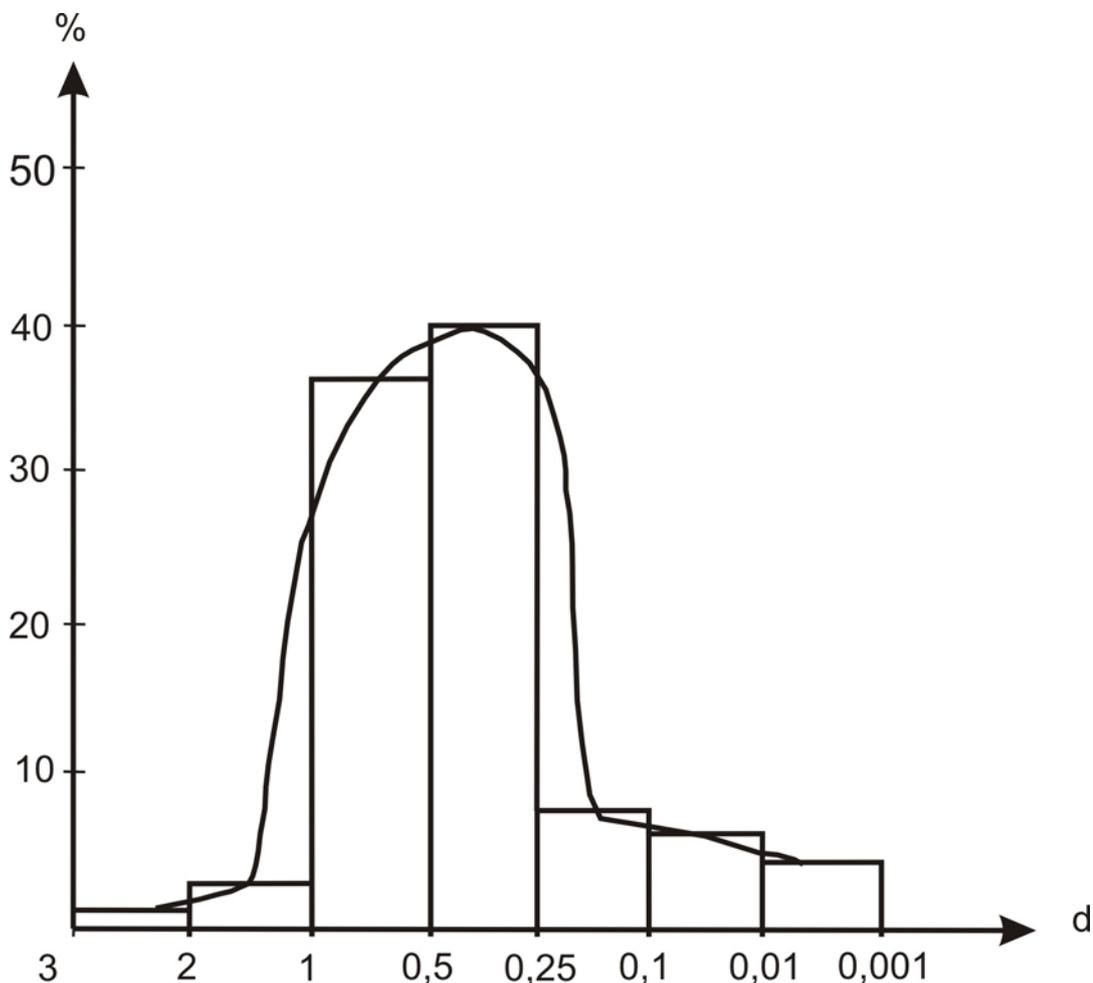


Рис. 4. Гістограма та крива розподілу фракцій уламкової породи.

За гістограмою визначаємо зернистість породи: якщо переважаюча фракція:

- 1–0,5 – пісок крупнозернистий,
- 0,5–0,25 – середньозернистий,
- 0,25–0,1 – дрібнозернистий.

Якщо переважають дві фракції, то спочатку вказується назва фракції з меншим, а потім з більшим процентним вмістом (напр., пісок середньо-крупнозернистий).

У нашому випадку визначаємо, що порода, взята для аналізу, – пісок крупно-середньозернистий із домішками алевриту і пеліту.

**Криві розподілу** отримують шляхом перетворення стовпчастих діаграм (гістограм). Для цього необхідно збільшувати число фракцій і звужувати інтервали для кожної фракції. По осі абсцис відкладають розміри фракцій у мм, а по осі ординат навпроти середини кожного інтервалу ставлять точку, яка відповідає процентному вмісту фракції. Згодом всі точки з'єднують лінією і отримують криву розподілу. Позитивом цього графіка є наочність і можливість показати окремо кожну фракцію. Негативною стороною можна вважати неможливість суміщати на одній діаграмі кількох аналізів, що утруднює їх порівняння.

**Циклограма** – це графік, аналогічний гістограмі, тільки побудований у вигляді круга, розділеного на сектори, площі або дуги яких пропорційні вмісту фракцій (рис. 5). Кожному проценту на такому графіку відповідає дуга в  $3,6^0$ . Як і гістограма цей графік відображає результат тільки одного аналізу і для зіставлення масових аналізів він теж незручний.

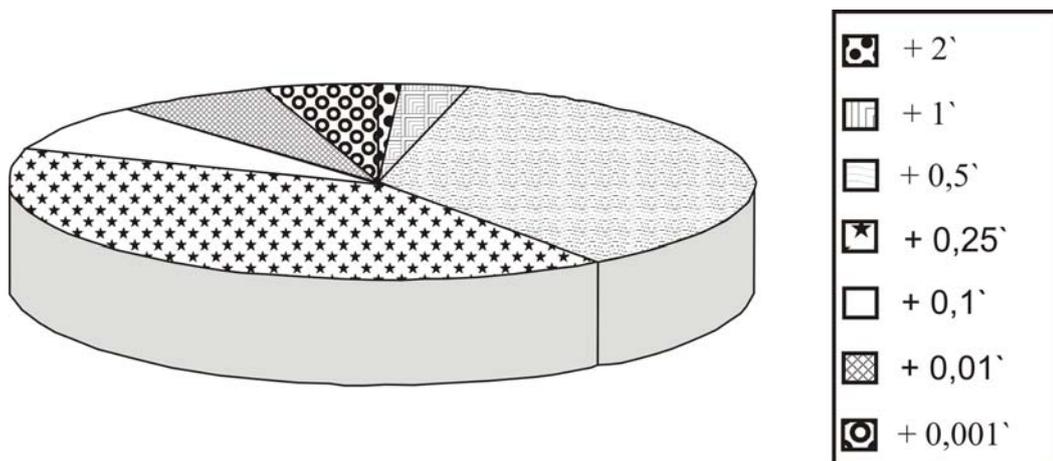


Рис. 5. Об'ємна циклограма гранулометричного складу уламкової породи.

**Кумулятивні**, або сумарні, наростаючі криві ( або криві однорідності) використовують як для зображення одного аналізу і розрахунку деяких характерних коефіцієнтів, так і для співставлення кількох десятків аналізів.

Будуються вони також, як і гістограми, в прямокутних координатах, де по осі абсцис відкладаємо від'ємні логарифми діаметру фракцій, а по осі ординат – процентний вміст фракцій. (рис. 6). Криві будують за принципом наростання. Тобто спочатку відкладають процентний вміст найбільш грубої фракції і ставлять точку, а потім, додавши процентний вміст наступної за розміром фракції, отримують суму обох фракцій і визначають наступну точку графіка. Далі додають по чергові кожну наступну фракцію і аналогічно відкладають відповідну точку. Точка ординати останньої фракції повинна знаходитися на рівні 100%. Отримані точки з'єднують плавною лінією – кумулятивна крива побудована.

Кумулятивні криві порівняно з гістограмами менш наглядні. Але за ними можна визначити вміст будь-якої фракції, навіть тих, які не визначались аналізом. Крім того цей вид графіка дозволяє наносити на одну діаграму ряд кривих і таким чином порівнювати їх.

Масштаб: 1,00 : 50 мм (одна логарифмічна одиниця – 50 мм, тому 1 мм = - 0,02).

Якщо розділити поле кумулятивної кривої на три частини: пісок, алеврит, пеліт, то побачимо, що досліджувана порода – пісок з невеликою кількістю алевриту і пеліту.

За кумулятивною кривою визначають середній розмір зерен  $M_d$  (медіана) та коефіцієнт сортування за Граском (3)

$$S_0 = \sqrt{\frac{Q_1}{Q_3}} \quad (3)$$

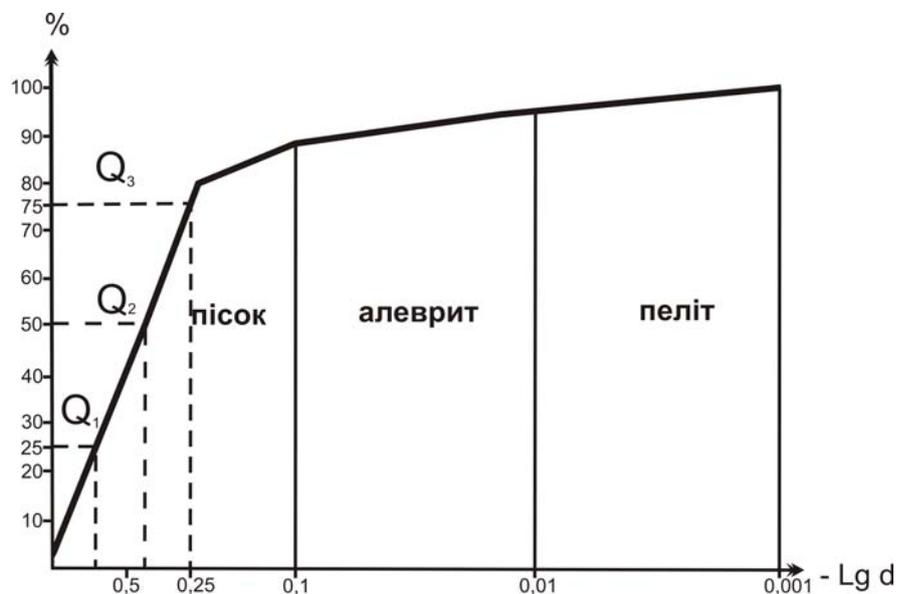


Рис. 6. Кумулятивна крива гранулометричного складу уламкової породи.

Для розрахунків згодом визначають кватерілі  $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q_3$ , тобто розміри зерен, відносно яких вага більших за розміром частинок становить 25, 50 і 75% від ваги усього зразка. Для отримання кватерілей проводять горизонтальні лінії через ординату на рівні 25, 50 і 75% до їх перетину з кумулятивною кривою, з точки перетину опускають перпендикуляр до осі абсцис і відраховують відповідну кількість міліметрів (тобто кількість логарифмічних одиниць) (див рис. 6). Щоб розрахувати діаметр частинок породи, слід взяти антилогарифми значень кватерілей

Наприклад, у нашому випадку

$M_d = Q_2 = 20$  мм. Оскільки  $1 \text{ мм} = - 0,02$ , отримуємо значення  $\lg d$  для  $Q_2 - -0,4$ .

За правилами логарифмічних обчислень перетворюємо це значення з від'ємного у додатне і беремо його антилогарифм (за таблицями Брадїса, 2010) [2]. Отримане число і буде відповідати фактичному значенню  $Q_2$ , тобто  $Md$  (в мм)

$$Md = 20 \times (-0,02) = -0,4 = -0,4+1-1 = 1,6000 = 0,3981 = 0,40 \text{ мм}$$

Цей розмір  $Md = 0,40$  мм дає дані про те, що наша порода, – це пісок з середньостатистичною часткою  $d = 0,40$  мм.

Для визначення коефіцієнта сортування  $S_0$  необхідно спочатку знайти значення  $Q_1$  і  $Q_3$  (аналогічно  $Q_2$ ).

Наприклад :

$$Q_1 = 10\text{мм} \times (-0,02) = -0,2 = -0,2+1-1 = 1,8000 = 0,6310 = 0,63 \text{ мм}$$

$$Q_3 = 27\text{мм} \times (-0,02) = -0,54 = -0,54+1-1 = 1,4600 = 0,2884 = 0,29 \text{ мм}$$

$$S_0 = \sqrt{\frac{Q_1}{Q_3}} = \sqrt{\frac{0,63}{0,29}} = 1,47$$

Величина  $S_0$  характеризує сортування породи. Якщо  $S_0 = 1$  – ідеально відсортована порода, тоді кумулятивна крива – пряма лінія.

Якщо  $S_0 = 1,01 - 1,52$  – добре відсортована порода,

якщо  $S_0 = 1,52 - 2,12$  – середньо відсортована порода,

якщо  $S_0 > 2,12$  – погано відсортована порода.

В нашому випадку порода добре відсортована ( $S_0 = 1,47$ ).

**Трикутні діаграми** застосовують для зіставлення результатів багатьох (десятки, сотні) аналізів. Це основна перевага такого виду графіків перед раніше розглянутими. Зрозуміло, що побудова цих діаграм потребує ще більшого узагальнення щодо кожного аналізу: аналіз тут вже відображається однією точкою, оскільки при нанесенні на трикутну діаграму, яка дає можливість показати лише три компоненти (за кількістю вершин), фракції об'єднуються і відкладається їх сумарний вміст по групах. Як правило, в одну групу об'єднують піщані, в другу – алевритові фракції, а третю становить глиниста фракція. Якщо є гравій або галька, вони приєднуються до загальної піщаної фракції. Кожній вершині рівностороннього трикутника відповідає 100% ний вміст одної із трьох груп фракцій, а на протилежних до вершин сторонах будуть розміщені точки з нульовим значенням відповідних груп. Відповідно кожна точка, що відображає аналіз, всередині трикутника, буде мати три координати, котрі визначаються вмістом трьох груп фракцій; точки, які розміщені на стороні трикутника, мають дві координати (третя – дорівнює нулю), а три точки у вершинах – одну координату (100 %-ний вміст відповідної групи фракцій).

Для нанесення аналізів на трикутну діаграму за допомогою лінійки відраховують по висоті від сторони трикутника віддаль, яка відповідає вмісту даної групи фракцій, і проводять паралельну цій же стороні лінію. Аналогічно відкладають другу групу

фракцій. У місці перетину цих ліній і буде лежати точка, яку будемо. Третью координати для нанесення аналізу не потрібно. Але для контролю правильності побудови графіка, як правило, відкладають і третю групу фракцій.

Поля, в яких групуються точки – аналізи – на діаграмі, об’єктивно, особливо при масових аналізах, відображають особливості гранулометричного складу: вони можуть бути зсунуті до вершин трикутника або ближче до центру, що відповідає різнозернистим породам.

Для визначення породи за результатами гранулометричного аналізу В. Т. Фролов (1964) запропонував ”Трикутну класифікацію змішаних піщано-алевритоглинистих порід” і відповідну таблицю “Номенклатура змішаних піщано-алевритоглинистих порід” [15].

Наприклад, у нашому випадку: піску і гравію разом – 88%; алевриту – 7%; пеліту – 5%.

За цими даними будемо точку (рис. 7) і залежно від того, в яке поле трикутника вона потрапляє, визначаємо породу. Якщо в породі є гравій, то його на трикутнику позначаємо стрілкою – від побудованої точки вниз – і підписуємо „гравій”.

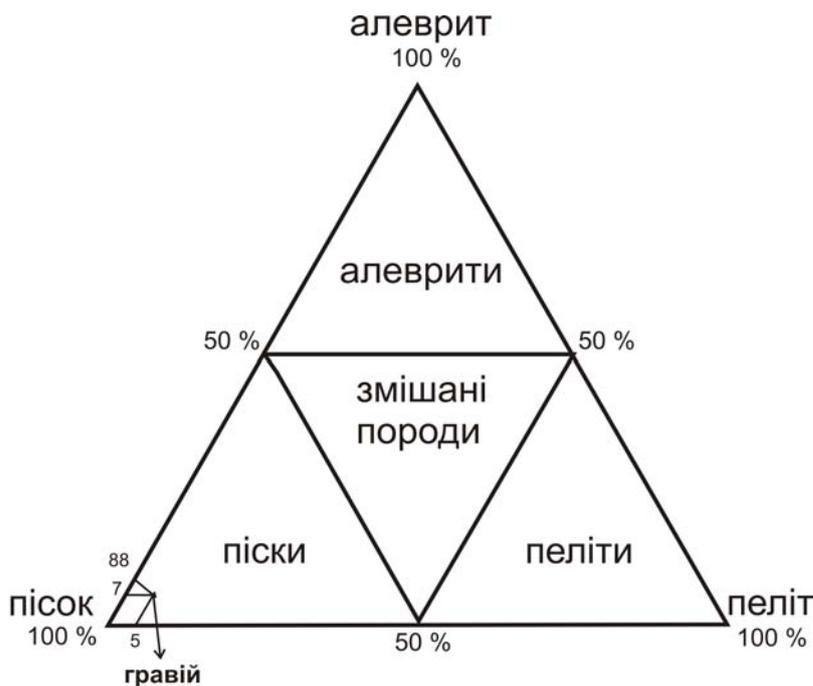


Рис. 7. Трикутна діаграма гранулометричного складу уламкової породи

За результатами аналізу робимо висновок: взята для аналізу порода – пісок слабоалевритистий, крупно-середньозернистий, добре відсортований.

Встановлено, що більшість уламкових порід (головно піщаних) підлягає логнормальному закономірному розподілу. Розрахунок статистичних параметрів (гранулометричних коефіцієнтів) для таких порід допомагає визначити генезис древніх відкладів.

На основі вивчення сучасних пісків встановлено, що річкові й еолові піски характеризуються позитивною асиметрією кривої розподілу гранулометричного складу, а морські та пляжні – негативною.

Критерієм для відділення еолових пісків від річкових є покращене сортування еолових пісків (рис. 8-10); пляжні відклади також сортовані краще, ніж річкові осади (рис. 11). Вельми погано сортовані флювіогляційні відклади (рис. 12) і діамікстити (мікстити<sup>1</sup>).

Значення ексцесу кривої розподілу у морських пісків зазвичай високе, а у річкових – низьке

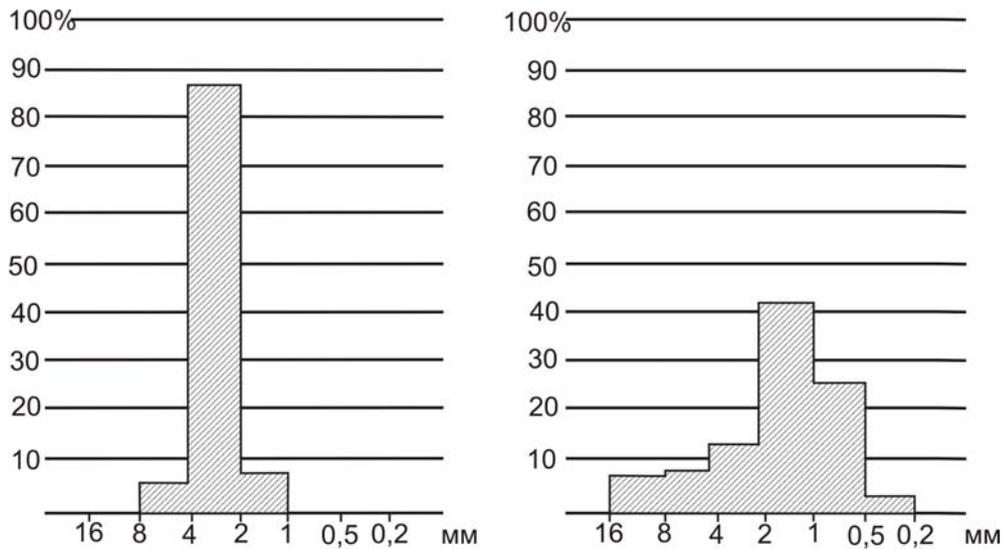


Рис. 8. Зіставлення гранулометричного складу двох пухких уламкових гірських порід (з використанням Гринсміт, 1981 [4]) Процентний вміст кожної фракції відображено площею прямокутника. Висота прямокутника пропорційна вмісту даної фракції у зразку А – добре відсортований пляжний гальочник, Північний Девон (87,7% частинок мають діаметр від 2 до 4 мм); Б – гірше сортований річковий гальочник

<sup>1</sup> Мікстит - змішана осадова порода, яка містить 10-50% крупно- і грубоуламкового матеріалу (> 0.2 см). Виділяють гравійні, галькові та грубоуламкові мікстити, в яких переважають уламки відповідних класів зернистості. Термін введений у наукову літературу Л. Шермерхорном у 1966 р. (Систематика і класифікації..., 1998).

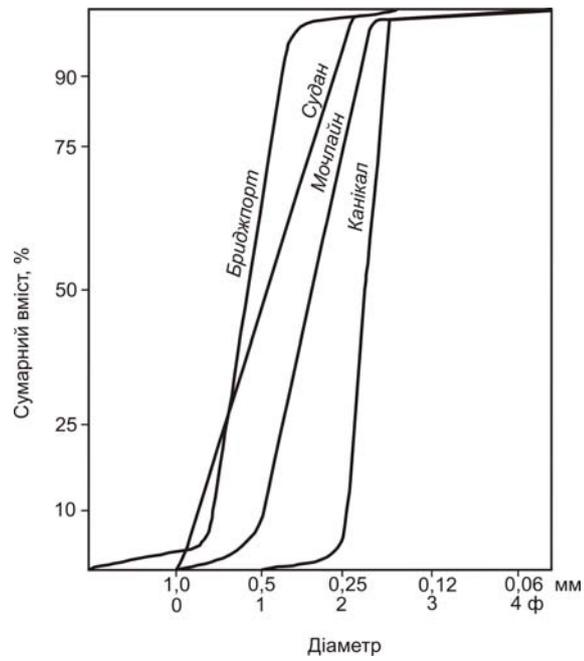


Рис. 9. Гранулометричний склад еолових пісків (з використанням Грінсміт, 1981 [4]). Представлені дані для таких зразків: пісковики Бантер (тріас, Бріджпорт, Англія); піски Нубійської пустелі (Канікал, Мадейра). Значна крутизна кумулятивних кривих свідчить про чудову сортованість.

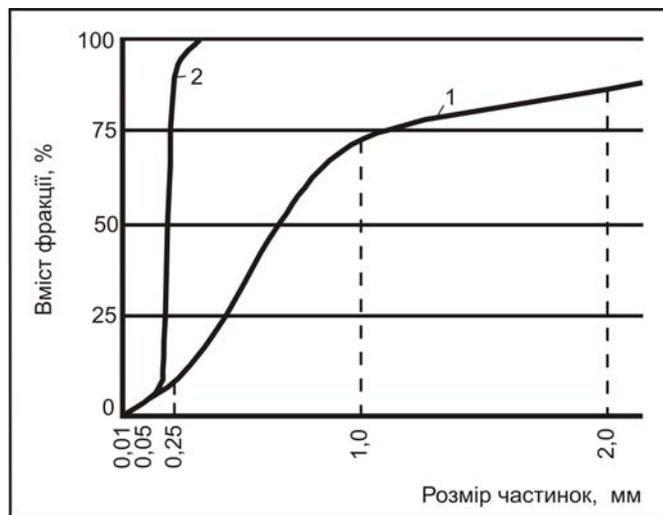


Рис. 10. Кумулятивні криві алювіального піску р. Москви (1) і барханного піску Каракуми (2) (з використанням [12]).

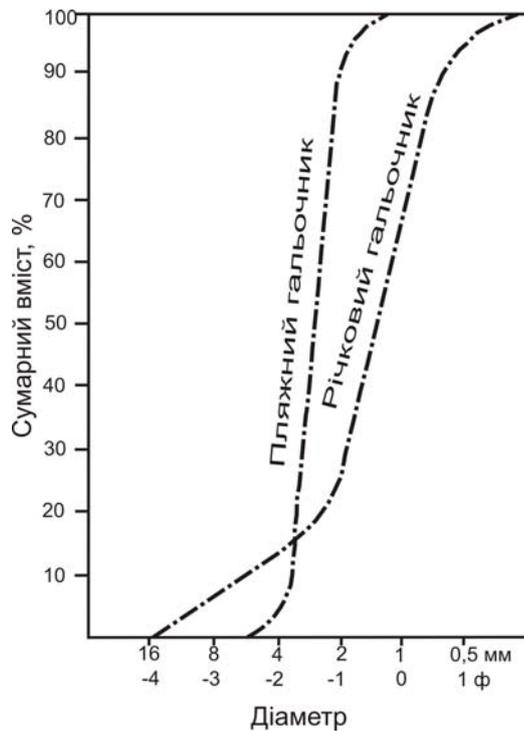


Рис. 11. Порівняння гранулометричного вмісту двох пухких уламкових гірських порід (кумулятивні криві за Грінсміт, 1981 [4]). Добре відсортований гальочник характеризується стрімко нахиленою кривою, а гірше сортований річковий гальочник – більш полого нахиленою кривою

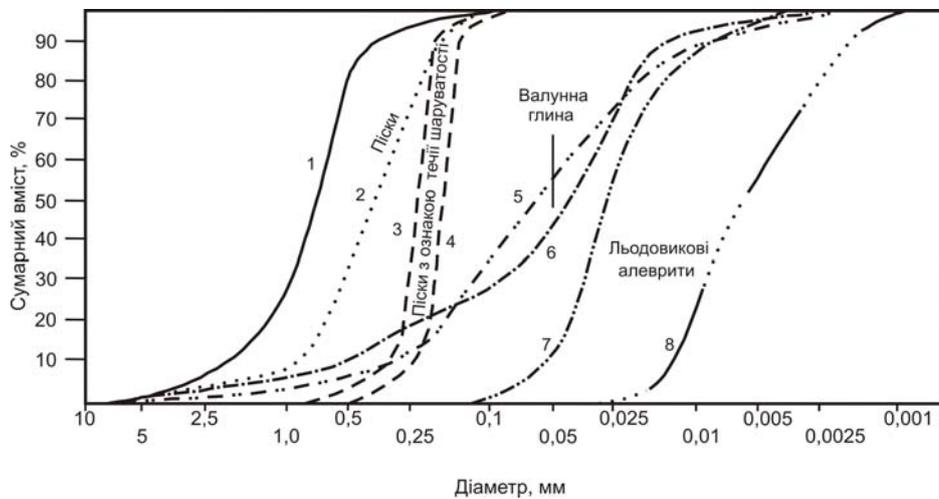


Рис. 12. Гранулометричний склад деяких льодовикових і флювіогляційних відкладів Північної Америки за Грінсміт, 1981 [4]). Валунні глини (5,6) характеризуються поганим сортуванням. Інші відклади є краще сортованими і відображають різний ступінь впливу водного транспортування. Алеврити (7,8) характеризуються чітким максимальним граничним діаметром зерен, проте для них гірше виражений мінімальний розмір частинок; це характерне для різнорозмірного матеріалу, що осаджується зі суспензій.

## 2.2. Гранулометричний аналіз глинистих порід

Методика підготовки глин до гранулометричного аналізу залежить від цілей дослідження. У практиці гранулометричний аналіз глин використовується з метою отримання: 1) фракцій різного розміру для мінералогічних досліджень; 2) структурної характеристики глини для уточнення її назви. Оскільки спеціальних робіт із найбільш раціональних способів підготовки глин до гранулометричного аналізу майже немає, то практична підготовка глин як для отримання структурної характеристики, так і при виділенні фракцій для мінералогічного аналізу проводиться однаково і залежить тільки від ступеня зцементованості породи та наявності в ній тих чи інших домішок.

Отримання для мінералогічних досліджень фракцій 0,01–0,005 мм, 0,005–0,001 мм і менше 0,0001 мм можливе тільки для пластичних та слабоущільнених глин.

При дезінтеграції пластичних незасолених і некарбонатних глин достатньо розм'якшити і розтерти їх до пастоподібного стану, не піддаючи будь-якій хімічній обробці. Невелика кількість електролітів, що в них міститься, виводиться зливанням води над розмоклою глиною. Для отримання дисперсної стійкої суспензії із засолених глин застосовується відмивання розмочених глин дистильованою водою методом декантації (декантація – відмивання породи від розчинних солей шляхом кількаразового заливання та зливання шару води над породою). Карбонатні глини, як правило, обробляють 2% НСІ на холоді в стакані до припинення виділення бульбашок  $\text{CO}_2$  від свіжої порції НСІ, потім глину відмивають на фільтрі гарячою водою до від'ємної реакції на СІ.

#### **Хід аналізу:**

Зі середньої проби повітряно-сухої глини беремо дві наважки по 10 г – одну для визначення вологості, другу – для власне гранулометричного аналізу. Усі зважування проводимо на аналітичних вагах.

1) На початку аналізу визначаємо вологість ( $W$ ). Для цього наважку глини  $P_{нав}$  висушуємо до постійної ваги в сушильній шафі, охолоджуємо і зважуємо ( $P_{вол}$ ). Вологість  $W$  розраховуємо за формулою (4-5):

$$W = \frac{P_{вол} \times 100\%}{P_{нав}} \quad (4)$$

$$\text{де } P_{вол} = P_{нав} - P_{сухе} \quad (5)$$

2) На аналітичній вазі зважуємо наважку глини 10 г і переводимо у стійку суспензію. Для цього її замочуємо в дистильованій воді (для аналізу використовуємо тільки дистильовану воду) на кілька діб. Після цього обережно зливають зайву воду – з нею відмиваються електроліти. Якщо порода дуже засолена, воду доливають і зливають кілька разів.

Потім пробу переносять у колбу, заливають приблизно десятикратною кількістю дистильованої води, додають 1 см<sup>3</sup> 25% аміаку і кип'ятять упродовж години на піщаній або водяній бані (якщо аміак не додають, то наважку залишають у воді на добу). Після

охолодження суспензії її пропускають над великою фарфоровою чашкою крізь сито 0,1 мм. Породу, що залишилася на ситі, розтирають гумовим корком доти, поки не стане прозорою вода над породою в чашці; породу, що залишилася на ситі, висушити, розсіяти на ситах №1; 0,5; 0,25; 0,1 і зважити кожну фракцію. Якщо частина зерен буде проходити крізь сито 0,01 мм, додати їх до суспензії.

Суспензію після відстоювання протягом 1 хв обережно переливають у мірний циліндр. Алеврит і грудочки, які залишилися на дні, розтирають гумовим корком, переносять усе в циліндр, дистильованою водою доводять об'єм до 1 л і додають для стійкості суспензії 25% розчин аміаку з розрахунку 0,5 мл на 1 л води.

Замірюють температуру суспензії у циліндрі, скаламучують її змішувачем доти, поки весь осад не підніметься з дна, і залишають у спокої до взяття першої проби. Час відстоювання та глибина взяття проб залежать від багатьох факторів: питомої ваги та форми частинок, густини і температури суспензії. Розраховують його за формулою Стокса (2). Глибина відбору проб може бути різною, але не рекомендується ближче ніж 5 см від поверхні суспензії та дна циліндра. Переважно відбирають проби з глибини 10 см. Час відбору проб вказаний у табл. 10. Після закінчення вказаного часу з циліндра, не збовтуючи суспензію, з глибини 10 см піпеткою відбирають першу пробу (у стовпі суспензії вище 10 см до того часу будуть присутні лише частинки діаметром менше 0,05 мм). Аналогічно через відповідний час відбирають і решту проб. Вміст піпетки зливають у попередньо зважені чашки або бюкси, випаровують воду при температурі 100–105<sup>0</sup>С, висушують до постійної ваги і зважують на аналітичних вагах.

Таблиця 10

**Час відбору проб глинистої суспензії [8]**

Проба	Температура, <sup>0</sup> С				
	10	12	15	17	20
< 0,05	58 с	55 с	51 с	48 с	45 с
< 0,01	24 хв 18 с	22 хв 59 с	22 хв. 14 с	20 хв 9 с	18 хв 44 с
< 0,002	5 г 3 хв	4 г 47 хв	4 г 25 хв	4 г 12 хв	3 г 54 хв
< 0,001	20 г 15 хв	19 г 9 хв	17 г 42 хв	16 г 48 хв	15 г 36 хв

Вміст кожної фракції визначають за формулою (6):

$$x = \frac{AV_2(100 - c)}{V_1B}, \quad (6)$$

де  $x$  – вміст фракції;  $A$  – вага відповідної проби після випарювання;

$V_1$  – об'єм відібраної проби суспензії (переважно 25 см<sup>3</sup>, тобто об'єм піпетки);  $V_2$  – об'єм усієї суспензії (переважно 1 л, тобто 1000 см<sup>3</sup>);  $B$  – вага наважки з поправкою на вологість; ( $c$  – вміст фракції більше 0,1 мм, тобто тієї частини породи, яка залишилася на ситі 0,1 мм).

За результатами гранулометричного аналізу глини будуються графіки та робляться розрахунки за звичайною методикою.

### **2.3. Визначення карбонатності гірських порід і нерозчинного залишку**

Важливими характеристиками карбонатних порід є карбонатність і вміст нерозчинного залишку. Карбонатність визначається вмістом у породі солей вугільної кислоти ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) – карбонатів, наприклад,  $\text{CaCO}_3$  (вапняк),  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$  (доломіт) та інші. Методи визначення карбонатності гірських порід належать до методів хімічного аналізу – це розкладання карбонату під дією соляної кислоти різної концентрації:



де R – Ca, Mg, Mn, Fe і т.д.

Визначення карбонатності проводиться газооб'ємним або ваговим методом. Газооб'ємний метод застосовується, якщо порода складається тільки з кальциту. Ваговий метод застосовується, якщо порода складається з різних карбонатів, тобто є полікарбонатна, або склад породи невідомий.

Цей вид аналізів не підходить для порід, збагачених апатитом, гідроксидами заліза, гіпсом, галітом, цеолітом та іншими мінералами, розчинними в соляній кислоті й воді.

#### **2.3.1. Газооб'ємний метод визначення карбонатності**

Газооб'ємний метод базується на визначенні кількості карбонатних мінералів за об'ємом вуглекислого газу, що виділяється внаслідок розкладу цих мінералів під дією на них 10%-ного розчину соляної кислоти. Результати аналізу виражаються у відсотках до маси взятої для аналізу породи.

##### **Підготовка проби до аналізу**

Кусок породи масою близько 25 г дроблять у ступці до розміру 1-2 мм, ретельно перемішують і квартують для відбору середньої проби масою ~ 1 г.

Пробу розтирають у ступці до стану пудри і висушують у сушильній шафі при температурі не вище 105°C до постійної ваги ( 3-6 год) і на аналітичних вагах беруть відповідну наважку. Наважка карбонатних порід (вапняків, доломітів, мергелів) має становити 0,2-0,3 г; пісків, алевритів, глин, що містять невеликий відсоток карбонатних мінералів, – до 4 г.

##### **Хід аналізу**

Газооб'ємний аналіз проводять за допомогою кальциметра (рис. 13).

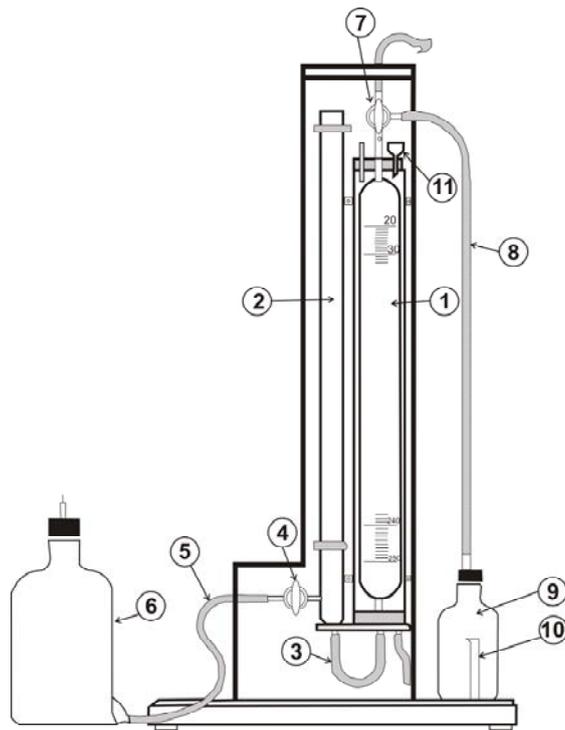


Рис. 13. Кальциметр для визначення карбонатності гірських порід

Кальциметр – це скляний прилад, який складається із градуйованої (в  $\text{см}^3$ ) бюретки (1), нижній кінець якої, за допомогою гумової трубки (3) з'єднаний зі зрівнювальним циліндром (2). Бюретка встановлена у скляну мантию, заповнену водою, для підтримування постійної температури рідини в ній. Кран (4) циліндра через гумову трубку (5) під'єднано до склянки з тубусом (6). У верхній отвір бюретки встановлено триходовий кран (7). Через гумову трубку (8) кран з'єднаний із склянкою (9), в яку впаяно циліндр (10). Саме в цій склянці і відбувається реакція розкладу породи кислотою.

Перед початком роботи склянку з тубусом (6) заповнюють насиченим розчином хлористого натрію. З неї через циліндр (2) заповнюють бюретку (1) і встановлюють “нульовий” рівень розчину в ній – *Vo*. В мантию через воронку (11) заливають воду. Прилад перевіряють на герметичність (рівень розчину в бюретці не повинен змінюватися упродовж тривалого часу). Тепер прилад готовий до роботи.

Наважку породи обережно висипають у склянку (9), стежачи, щоб порода не потрапила у впаяний всередині циліндр. У циліндр через воронку з довгим носиком (або за допомогою піпетки) наливають 10% - ний розчин соляної кислоти (8-9 мл) – обережно, щоб кислота не потрапила на породу. Склянку герметично закривають корком, з'єднаним з трубкою, яка веде до триходового крана (7) бюретки. Склянку нахилиють так, щоб кислота із циліндра повністю вилася на породу в склянці, але не потрапила у відвідну трубку. Для кращого перебігу реакції склянку час від часу струшують, стежачи, щоб кислота повністю покрила породу. В результаті взаємодії породи з кислотою виділяється вуглекислий газ, який через трубку надходить у бюретку, витісняючи при цьому з неї розчин у зрівнювальний циліндр. Про закінчення реакції розкладу породи свідчить припинення виділення бульбашок газу і зупинка рівня розчину в бюретці. Тепер знімаємо

покази рівня рідини в бюретці –  $V_1$ .

### **Розрахунок карбонатності й визначення породи**

За різницею показів рівнів рідини в бюретці до і після проведення розкладу породи визначаємо об'єм вуглекислого газу  $V_{CO_2}$ , що виділився в результаті реакції (5):

$$V_{CO_2} = V_1 - V_0 \quad (5)$$

За графіком (рис. 14) вмісту карбонатів залежно від об'єму виділеного вуглекислого газу, тиску і температури, при яких проводився аналіз, визначаємо вміст  $CaCO_3$  в породі ( $P_{CaCO_3}$ ). Карбонатність ( $K$ ) породи розраховується за формулою (6):

$$K = \frac{P_{CaCO_3}}{P_{нав}} \times 100\% \quad (6)$$

Відповідно до значення карбонатності визначаємо породу:

5 – 25%  $CaCO_3$  – вапнякова глина;

25 – 50% – глинистий мергель;

50 – 75% – мергель;

75 – 95% – глинистий вапняк;

95%  $CaCO_3$  і більше – вапняк;

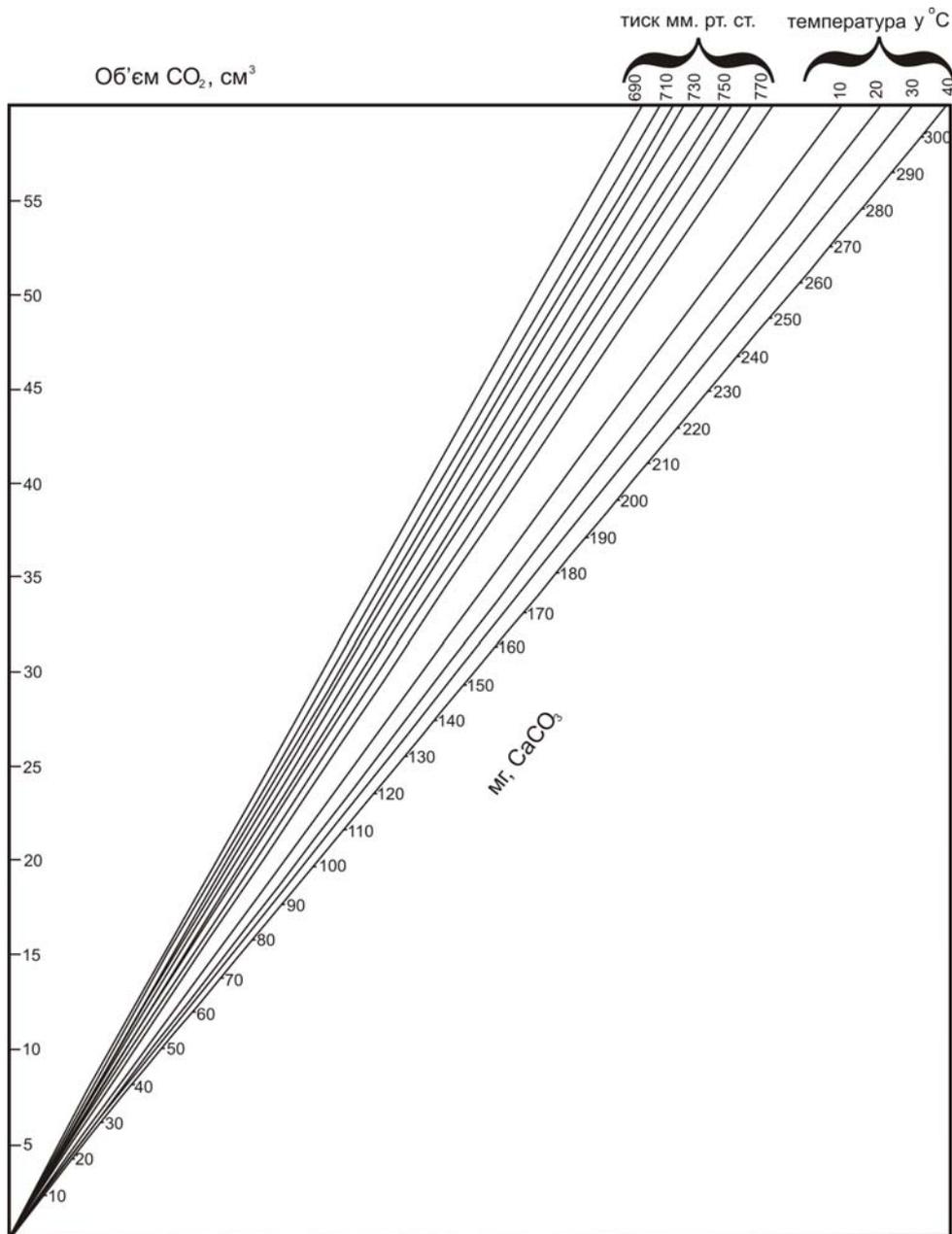


Рис. 14. Графік для визначення вмісту карбонатів залежно від об'єму виділеного CO<sub>2</sub>, тиску і температури, при яких проводився аналіз

### 2.3.2. Ваговий метод визначення карбонатності

Ваговий метод відрізняється простотою і достатньою точністю. Цим методом карбонатність визначається за кількістю розчинених карбонатів у породі.

#### Підготовка проби до аналізу

Аналогічна до підготовки проби для об'ємного методу.

#### Хід аналізу

Зважуємо на аналітичних вагах наважку породи 1 г, переносимо в хімічний стакан (об'ємом 100-150 мл) або фарфорову чашку і заливаємо 50 см<sup>3</sup> 5%-ного розчину соляної кислоти HCl, суміш перемішуємо і злегка підігріваємо, не допускаючи сильного нагрівання чи кипіння. Коли перестануть виділятися бульбашки вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>) і

забарвлення нерозчинного залишку вже не змінюється, – процес розкладу карбонатів закінчився. Розчин з осадом переливаємо у воронку на попередньо висушений і зважений фільтр, нерозчинний залишок на фільтрі промиваємо гарячою водою до повного відмивання кислоти (контроль промивних вод проводимо універсальним індикаторним папером до  $\text{pH}=6$ ). Фільтр з осадом висушуємо в сушильній шафі, охолоджуємо і зважуємо на аналітичних вагах. Розрахунок результатів аналізу.

Визначаємо вагу нерозчинного осаду (7):

$$P_{oc} = P_{\phi+oc} - P_{\phi}, \quad (7)$$

де  $P_{\phi}$  – вага висушеного фільтра;  $P_{\phi+oc}$  – вага висушеного фільтра з осадом.

Різниця між наважкою і масою осаду – вага карбонатних солей (8):

$$P_{карб} = P_{нав} - P_{oc} \quad (8)$$

де  $P_{нав}$  – вага наважки породи, взята для аналізу.

Карбонатність породи у відсотках визначаємо за формулою (9):

$$K = \frac{P_{карб}}{P_{нав}} \times 100\% \quad (9)$$

**Нерозчинний залишок** кількісно оцінюють разом із визначенням карбонатності. Але для вивчення його складу недостатньо тієї кількості, яка залишається при визначенні карбонатності. Тому нерозчинний залишок доводиться виділяти спеціально із більшої наважки породи. Величина наважки, яка визначається вмістом нерозчинного залишку в породі, коливається від 50-100 г для мергелів до 400-500 г і більше – для більш чистих карбонатних порід. Наважку обробляють 5–10% соляною кислотою у великих стаканах до повного розчинення карбонатів (до припинення виділення бульбашок газу), причому кислоту беруть з надлишком. Нерозчинний залишок відмивають на фільтрі від соляної кислоти, висушують і зважують. Вміст нерозчинного залишку в породі, як правило, виражають у процентах. Виділений нерозчинний залишок породи в подальшому піддають звичайному гранулометричному аналізу, а потім різним видам мінералогічного аналізу – розділяють важкими рідинами, вивчають в імерсійних рідинах і т.д., тобто його досліджують як уламкові та глинисті породи. Глинисті мінерали, зокрема, вивчають ще методами фарбування, в електронному мікроскопі, термічним і рентгеноструктурним аналізами.

#### 2.4. Визначення карбонатних порід методом фарбування

Для діагностики карбонатних мінералів здавна використовували методи фарбування. Визначення карбонатних мінералів цими методами можна проводити в куску породи, в порошку, на пришліфовці або у шліфах. Шліф виготовляють для цього відкритий, або використовують звичайний шліф, звільняючи частину його від покривного

скла і канадського бальзаму.

Фарбування куска породи, порошку або поверхні аншліфа проводять як у холодному вигляді, так і при кип'ятінні. Шліф фарбують, як правило, без підігріву.

Один із головних методів фарбування карбонатних мінералів наведено в табл. 11.

Найбільш простий метод для відрізнєння кальциту (і арагоніту) від доломіту й інших карбонатів – метод виявлення карбонату кальцію – є реакція фарбування фіолетовим чорнилом, підкисленим соляною кислотою.

Метод запропонований у 1952 р. С. В. Тихомировим: чорнило краще приготувати із барвника метилвіолету. Його наливають на годинникове скло і підкисляють кількома краплями 5%-ної соляної кислоти до появи синього забарвлення (або зеленого – при меншій кількості кислоти). Краплю такого чорнила наносять на відкритий шліф на 1,5-2 хв, а потім залишки чорнила обережно видаляють фільтрувальним папером або змивають струменем води. Після цього шліф можна розглядати під мікроскопом. Кальцит, який травиться кислотою і затримує на своїй поверхні чорнило, забарвлюється у фіолетовий колір, а доломіт залишається незабарвленим або слабозеленуватим. Якщо пізніше необхідно видалити чорнило з поверхні кальциту, шліф промивають водою з милом. Ця реакція надійна для відносно крупнозернистих порід (крупніше 0,05 мм), тому що дрібнозернистий доломіт теж забарвлюється чорнилом.

Г. Л. Піотровським у 1956 р. на нашому факультеті розроблений метод фарбування карбонатних порід лужними розчинами барвника титанового жовтого (або тіозилового жовтого), який застосовують для визначення тонкозернистих і пелітоморфних порід, зокрема, для виявлення та розділення доломіту, кальциту і магнезиту.

Розглянемо детальніше методику фарбування карбонатних порід методом Г. Л. Піотровського.

#### **Хід аналізу**

Готуємо два розчини барвника – слаболужний і сильнолужний:

слаболужний – у 100 мл води розчинити 0,1 г барвника титанового жовтого і 0,1 г їдкого натру NaOH;

сильнолужний – у 100 мл води розчинити 0,1 г барвника титанового жовтого і 3 г їдкого натру NaOH.

Зразки досліджуваної породи протравлюємо 5%-ним розчином соляної кислоти для надання поверхні пористості, промиваємо водою і поміщаємо в стаканчики з відповідним розчином барвника. Вміст стаканчиків кип'ятимо 10–15хв, зразки витягаємо з розчинів і добре промиваємо водою. Після цього за забарвленням зразків визначаємо породу.

У сильнолужному розчині барвника зразки забарвлюються:

доломіт – у бурячковий колір;

магнезит – у яскраво-червоний (цегляно-червоний) колір;

кальцит – не забарвлюється;

глинисті домішки забарвлюються в лимонно-жовтий колір.

У слаболужному розчині барвника ні кальцит, ні доломіт не забарвлюються, а магнезит забарвлюється у жовтий або навіть у червоний колір.

Цей метод фарбування – один із зручних і швидких польових методів визначення карбонатних порід.

## Методи фарбування карбонатних мінералів

Автор реакції та реактиви	Умови виконання реакції	Результати реакції	Примітка
1	2	3	4
І. І. Лемберг (1887). 10-15% водний розчин $\text{Fe}_2\text{Cl}_3 - 12\text{H}_2\text{O}(\text{NH}_4)_2$	Непокритий прозорий шліф занурюють у розчин хлорного заліза на 1,0–1,5 хв для дрібнозернистих порід і 1,5-2,0 хв для крупнозернистих порід або крапають на шліф краплю реактиву. Після промивання водою крапають краплю сірчистого амонію на кілька секунд (до 1 хв) і знову промивають водою	Після обробки хлорним залізом на кальциті утворюється плівка $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , яка чорніє від сірчистого амонію. Доломіт залишається без змін	Межі між суміжними зернами кальциту губляться. Можуть залишитися незафарбованими центральні частини крупних кальцитових зерен. За вказівкою В. Б. Татарського реакція надійна, якщо розміри зерен не менше 0,02–0,01 мм
І. І. Лемберг (1888). Чотири частини $\text{Al}_2\text{Cl}_6$ розчиняють у 60 частинах води і кип'ятять 25 хв з шістьма частинами ампешевого дерева. Замість ампешевого дерева можна брати 0,6 частин його фарбувальної основи гематоксиліну (Фербенкс, 1925). Розчин нагрівають до кипіння і після охолодження додають кілька крапель перекису водню $\text{H}_2\text{O}_2$	Шліф занурюють на 5 хв у реактив і, якщо забарвлення недостатнє, витримують у реактиві до 10 хв і промивають водою	Кальцит зафарбовується у фіолетовий колір, доломіт залишається незафарбованим	Треба уникати товстого шару лаку: його легко змивати водою
І. І. Лемберг (1892). 10% розчин $\text{AgNO}_3 + 20\%$ розчин $\text{K}_2\text{CrO}_4$	Шліф занурюють у розчин азотнокислого срібла, на-грітий до $60^\circ - 70^\circ\text{C}$ і витримують 2-5 хв. Після промивання водою діють розчином хромово-кислого калію від кількох секунд до 1 хв	Плівка вуглекислого срібла, яка осідає на кальциті, зафарбовується у червоно-оранжевий колір. Доломіт залишається незафарбованим	Кольорова плівка не стискається і не фарбується. Можуть зафарбуватися і некарбонатні мінерали. Треба перевіряти забарвлення частини шліфа 10% оцтовою або 0,04% азотною кислотою. В тонкозернистих породах плівка може

			утворитися і на доломіті
--	--	--	--------------------------

Продовження табл. 11

1	2	3	4
<p>Роджерс (1940).</p> <p>1. На 1 л води 188 г <math>\text{Cu}(\text{NO}_3)_2</math> або 255 г <math>\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}</math> або 322 г <math>\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}</math></p> <p>2. Міцний розчин <math>\text{NH}_3</math></p>	<p>Полірований шліф занурюють на 5-6 год у розчин азотнокислої міді полірованою поверхнею вниз. Під один з кутів аншліфа підкладають предметне скло, щоби полірована поверхня не дотикалася до дна посудини. Витягнутий із посудини аншліф без промивання і просушування занурюють на кілька секунд у аміак. Зразок промивають і витирають</p>	<p>У розчині азотнокислої міді кальцит зеленіє, після аміаку – синіє. Доломіт залишається безбарвним, але втрачає полірування. Кварц і силікати залишаються без змін</p>	<p>Тонкозернисті доломіти і подряпини на поверхні зерен доломіту зафарбовуються як кальцит. У поруватих породах невідмиті залишки азотнокислої міді зафарбовуються як кальцит. Зафарбована плівка міцна і стійка. А. Б. Габрилян застосував цю реакцію для прозорих шліфів</p>
<p>Д. С. Белякін, В. В. Ланін, І. А. Островський (1940). 2% <math>\text{HCl}</math></p>	<p>Поліровані шліфи протравлюють 2% соляною кислотою протягом 20 с</p>	<p>Кальцит у відбитому світлі темний, а доломіт зберігає білу поліровану поверхню</p>	<p>Метод добре виявляє структурні особливості кальцитово-доломітових крупнозернистих порід. На протравлених поверхнях пори у породі мають такий же вигляд як кальцит, кварц, а силікати, – як доломіт.</p>
<p>В. С. Тихомиров (1951). Фіолетове чорнило розводять 5% <math>\text{HCl}</math> до його позеленіння або посиніння</p>	<p>Шліф рясно покривають таким чорнилом і залишають на 1,5–2,0 хв. Чорнило обережно видаляють покладеним на шліф фільтрувальним папером</p>	<p>Кальцит зафарбовується у фіолетовий колір, доломіт після видалення чорнила залишається незафарбованим або слабо зеленкуватим</p>	<p>Реакція надійна для порівняно крупнозернистих порід. Промивши шліф водою з милом, чорнило можна повністю видалити</p>
<p>Г. Л. Піотровський (1956). 100 мл води, 0,1 г <math>\text{NaOH}</math> і 0,01 г титанового жовтого або тіазолового жовтого</p>	<p>Кусок породи кип'ятять у розчині 10-15 хв, промиваються у воді</p>	<p>Магнезит зафарбовується в цегляно-червоний колір, глиниста речовина - у лимонно-жовтий. Доломіт і кальцит не зафарбовуються</p>	<p>Реакції рекомендовані для тонкозернистих пелітоморфних порід. Для крупнозернистих порід метод не рекомендують, оскільки плівка лаку легко відстає в разі кип'ятіння і промивання зразка. Зафарбовані зразки треба зберігати у спирті</p>

Г. Л. Піотровський (1956). 100 мл води, 3 г NaOH, і 0,01 г титанового жовтого або тіазолового жовтого	Кусок породи кип'ятиться у розчині 10 - 15 хв, промивають у воді	Магнезит і доломіт зафарбовується у цегляно-червоний колір, глиниста речовина - у лимонно-жовтий	
-------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------	--

*Закінчення табл. 11*

1	2	3	4
Н. В. Логвиненко і Н. К. Заболотна (1954). 25 мг пара-нітробензолорезорцину розчиняють у 500 г спирту і 500 г води. Додають КОН або NaOH до отримання синього кольору	Порошок або пришліфовку кип'ятять 2-3 хв у розчині, потім промивають водою до отримання безбарвних промивних вод	Доломіт, магнезит, брейнерит зафарбовуються у синій колір. Немагнезіальні карбонати не зафарбовуються. У разі реакції без кип'ятіння доломіт не зафарбовується, магнезит стає синім, а залізо-магнезіальні карбонати - сірими	Реакція на розрізнення магнезі-альних карбонатних порід від немагнезіальних. Глиниста речовина адсорбує барвники, а також зафарбовується
Н. В. Логвиненко і Н. К. Заболотна (1954). В 15 мл спирту розчиняють 1-2 г еозину, промивають 3 мл 25% розчину КОН	Порошок кип'ятять у розчині 2-3 хв і промивають водою	Доломіт залишається незафарбованим, магнезит стає яскраво-рожевим, брейнерит – блідо-рожевим, сидерит – сірим	Глиниста речовина адсорбує барвник. Г. Л. Піотровський (1956р) рекомендує для розпізнавання доломіту після фарбування еозином проводити фарбування титановим жовтим
М. Фадєєв (1936). У 100 частинах кип'ячої води розчиняють дві-три частини дифенілкарбазиду і чотири-п'ять частин КОН або NaOH, потім фільтрують	Пришліфовану пластинку нагрівають до 60-70 °С, занурюють у киплячий розчин, де з підігріванням витримують 20-30 хв, а потім добре промивають	Магнезит зафарбовується у фіолетовий колір, доломіт залишається незафарбованим	Після фарбування пластинку наклеюють на предметне скло, і з неї готують звичайний шліф. В. Б. Татарський (1955) зазначає про можливість виготовлення шліфів і пластинок, забарвлених іншими способами

## 2.5. Використання важких рідин у літологічних дослідженнях

Фрагменти різних мінералів, які входять до складу пісковиків і алевролітів, поділяються на породотвірні (ті, що переважають у породі – від 5 до 95%, наприклад кварц і польові шпати), другорядні (до 5%) і акцесорні (їх у породі менше 1–2%, наприклад, титаніт, циркон, турмалін, апатит, пірит, титаномагнетит та ін.).

Попри те, що останні трапляються у породах зрідка і містяться у невеликій кількості, вони часто несуть важливу генетичну інформацію про склад джерел знесення, особливостей транспортування кластичного матеріалу тощо.

Під час детального вивчення осадових порід часто виникає необхідність визначити всі мінерали, які входять до складу породи. Для досягнення цієї мети необхідно розділити зерна мінералів на окремі групи.

Багатолітній досвід вивчення осадових порід довів, що найбільше мінералів перебуває у фракції 0,25-0,1 і 0,1-0,01 мм. У фракціях із розміром зерен більше 0,25 мм переважають зазвичай уламки порід, однак у фракціях менше 0,01 мм зерна мінералів поготів важко визначити за допомогою поляризаційного мікроскопа, і для діагностики мінералів необхідно застосовувати інші методи дослідження (термічний, рентгенографічний, хроматографічний, електронно-мікроскопічний методи).

Головним із підготовчих методів мінералогічного аналізу уламкових компонентів порід є розділення їх за питомою вагою у важких рідинах. Цей метод застосовується для виділення або збагачення акцесорних мінералів. Акцесорні мінерали, як правило, мають більшу ніж породоутворюючі компоненти питому вагу, що і використовується в даному методі для їх виділення.

Метод полягає в тому, що порода в зернах або гранулометричні фракції (діаметр зерна 0,25–0,05 мм) поміщають у важку рідину з питомою вагою більше 2,7–2,8 г/см<sup>3</sup> і розділяються нею за питомою вагою на дві фракції – легку і важку. Легка фракція спливає, а важка осідає. Акцесорні мінерали осідають у важкій фракції. Після цього їх легко відділити одну від одної і вивчати окремо. До групи легких відносять мінерали, які мають питому вагу менше 2,75; відповідно, до важких – мінерали з питомою вагою більше 2,75. Підбираючи рідини з різною питомою вагою, можна виділити не дві, а більше фракцій, що полегшує діагностику мінералів.

Є ціла група важких рідин (див. табл. 12), які використовують для розділення мінералів. Найчастіше застосовують рідину Туле та бромформ. Усі ці важкі рідини не мають хімічно взаємодіяти з мінералами, втрачати прозорість, мають бути стійкими упродовж тривалого часу (не втрачати свою питому вагу) і легко розводитися до потрібної питомої ваги.

Розділення можна проводити в будь-якому скляному стакані, фарфоровій чашці, бюксі, звичайній воронці з гумовим відводом для затискача. Найкраще розділення проводити у спеціальній ділильній воронці, яка зверху має притертий скляний корок, а

знизу відросток із краном. Для того, щоб розділення було найбільш повним, слід брати малі наважки, але це дає невеликий вихід важкої фракції. Найбільш вигідною вважається така наважка, що дає шар легкої фракції, яка спливає на рідині, товщиною 1 мм.

Час розділення залежить від величини зерен і різниці у питомих вагах важких і легких мінералів. Для піщаних фракцій більше 0,1мм це 6-12 годин, а для алевриту 0,05-0,01мм – доба.

Вибір питомої ваги важкої рідини визначається багатьма факторами: складом мінералів (їх питомою вагою), їх кількісними співвідношеннями, метою досліджень. Найбільш зручною для розділення важкою рідиною вважається рідина із питомою вагою 2,85

Таблиця 12

**Характеристика головних важких рідин і сплавів**

Назва	Хімічний склад	Максимальна густина, г/см <sup>3</sup>	Колір	Розчинність	Особливі властивості
<b>Рідини</b>					
1	2	3	4	5	6
Туле	HgJ <sub>2</sub> *KJ <sub>2</sub>	3,17 – 3,19	Жовтий	Вода (добре)	Отруйна Впливає на сульфід і глини
Броформ	CNBr <sub>3</sub>	2,85 – 3,00	Безбарвний	Спирт, бензол, ефір	Летка, розкладається під дією світла
Йодистий метилен	CH <sub>2</sub> J <sub>2</sub>	3,33	Жовтий	Бензол, ефір, ксилол	Дуже отруйна, розкладається під дією світла
Рорбаха (Сушина)	BaJ <sub>2</sub> *HgJ <sub>2</sub> *nH <sub>2</sub> O	3,50	Жовтий	Вода, шляхом дифузії	Непередбачувана в роботі
Клейна	9 WO <sub>3</sub> * B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> * 2Cd (OH) <sub>3</sub> * 16 H <sub>2</sub> O	3,60	Жовтий	Вода (легко)	Розкладається під дією світла
Клеричі	CH <sub>2</sub> (COO) <sub>2</sub> Tl* HCOOTl* nH <sub>2</sub> O	4,27	Блідо-жовтий	Вода (легко)	Дуже сильна

					отрута
Чотири-ацетилен (тетраброметан)	$C_2H_2 Br_4$	2,97-3,00	Безбарвний	Ефір, бензол, ацетон	Досить в'язкий
М-44	$ZnJ_2 * BaJ_2$	2,90	Темний	Вода	Важко регенеру ється
М-45	$BaJ_2 * CdJ_2$	3,0	Темний	Вода	Важко регенеру ється
<b>Сплави</b>					

Продовження таблиці 12

1	2	3	4	5	6
Бреона	$PbCl_2$ і $ZnCl_2$	5,08; $t_{пл}=498^0C$ 2,4; $t_{пл}=262^0C$	-	Вода	-
Клейна	$9WO_3 * B_2O_3 *$ $2Cd(OH)_2$	3,6; $t_{пл}=75^0C$	-	Вода	-
Реджерса (Редгерса)	$Ag NO_3$ і $NaNO_3$ або $KNO_3$	4,29 – 4,36; $t_{пл}=198^0C$ 2,25; $t_{пл}=308^0C$ 2,10; $t_{пл}=336^0C$	-	Вода	-

– 2,9 г/см<sup>3</sup>: вона дає найбільш чисту важку фракцію без кальциту, доломіту, кварцу та інших породотворюючих легких мінералів, які часто через включення або залістисті сорочки опускаються разом із важкими мінералами і забруднюють важку фракцію, утруднюючи її вивчення. Для розділення мінералів групи глин використовуються набір рідини Туле з питомою вагою 1,8; 2; 2,2; 2,3; 2,45; 2,56; 2,78; 3,00 та 3,15.

Для швидкого розділення, а також для розділення мінералів близьких за питомою вагою, використовують також центрифуги (1000 об/хв) – в центрифужну пробірку поміщають породу з важкою рідиною і центрифугують. Після центрифугування порода розділяється на легку і важку фракції (табл. 13).

### Техніка безпеки у роботі з важкими рідинами

Усі важкі рідини – отруйні сполуки, тому при роботі з ними слід суворо дотримуватися правил техніки безпеки та виробничої санітарії. Всі роботи з важкими рідинами слід проводити тільки в захисному одязі (бавовняний халат, гумові рукавиці або напальчники, захисний фартух), у витяжній шафі при включеній вентиляції. У разі розливу важкої рідини її слід негайно прибрати. Місце, де була розлита рідина, нейтралізувати 20%-ним розчином  $\text{FeSO}_4$  і добре змити

Таблиця 13

**Питома вага різних мінералів,  
за І. А. Преображенським (1954) [12]**

Питома вага	Мінерали
<2,65	Графіт, опал, анальцим, глауконіт, гіпс, мікроклін, ортоклаз, санідин, серпентин, альбіт, халцедон, олігоклаз, кварц
2,65-2,80	Андезин, клінохлор, кальцит, тальк, флогопіт, мусковіт, арагоніт, доломіт
2,80-3,70	Ангідрит, тремоліт, біотит, актиноліт, анкерит, глауконіт, турмалін, андалузит, апатит, флюорит, рогові обманки, силіманіт, діопсид, цоїзит, авгіт, епідот, гіперстен, титаніт, алмаз, лейкоксен, егірін, хлоритоїд, grosular, піроп, топаз, дістен
3,70-4,00	Ставроліт, лімоніт, анатаз, брукіт, ортит, сидерит, корунд, целестин
4,00-5,10	Сфалерит, альмандин, меланіт, рутил, гетит, циркон, хроміт, барит, ксенотим, марказит, ільменіт, пірит
>5,10	Магнетит, монацит, гематит, шееліт, каситерит, золото

водою. Після закінчення роботи ретельно вимити руки водою з милом. Відключити вентиляцію.

#### Хід аналізу

Важку рідину розвести до потрібної питомої ваги (переважно 2,8-2,9 г/см<sup>3</sup>). Для цього зважуємо порожній стакан ( $P_{cm}$ ) і в ньому певний об'єм ( $V$ ) рідини ( $P_{cm.*pid}$ ):

$P_{pid} = P_{cm \pm pid} - P_{cm}$  і визначаємо питому вагу рідини (10):

$$\rho = \frac{P_{pid}}{V} \quad (10)$$

Тепер розраховуємо, скільки треба додати розчинника, щоб розвести важку рідину до робочої питомої ваги 2,8 г/см<sup>3</sup> (11).

$$(\rho \times V) + x = 2,80 (V + x), \quad (11)$$

де  $x$  – кількість розчинника (в см<sup>3</sup>).

2. У воронку із гумовим шлангом і затискачем Кохера залити половину об'єму важкої рідини (25–35 см<sup>3</sup>), висипати породу і долити решту важкої рідини. Наважка

породи 2,5–3,0 г. Якщо фракція до 10 г, то використовуємо всю фракцію.

3. Суміш перемішати скляною паличкою і залишити відстоюватися протягом 6–12 годин (або добу для алевриту).

4. Легко відпускаючи затискач, злити важку (нижню) фракцію на фільтр, вставлений у воронку, стежачи, щоб залишалася легка (верхня) фракція. Потім аналогічно на інший фільтр злити легку фракцію.

5. Важку і легку фракції на фільтрах промити відповідним розчинником (згідно з табл. 12) [17]). Промивати фракції слід до повного відмивання важкої рідини від породи.

6. Промиту породу (важку і легку фракції) висушити при температурі не більше 100°C.

7. Важку фракцію зважити на аналітичних вагах і розрахувати її процентний вміст. Легку фракцію не зважувати, бо за її рахунок ідуть всі втрати аналізу.

Після розділення важка фракція (якщо вона велика) іде на магнітну, електромагнітну сепарацію. Виділяється електромагнітна фракція (можна виділяти сильно-, середньо-, слабомагнітні фракції) та немагнітні фракції (рис. 15).

Рудні (непрозорі) мінерали вивчають далі шліховим методом, у шліфах, в аншліфах мінералогічним методом, вивчаються за допомогою рентгеноструктурного аналізу.

Легку фракцію (нерудні мінерали) – в ній всі мінерали прозорі – вивчають в імерсійних рідинах імерсійним методом.

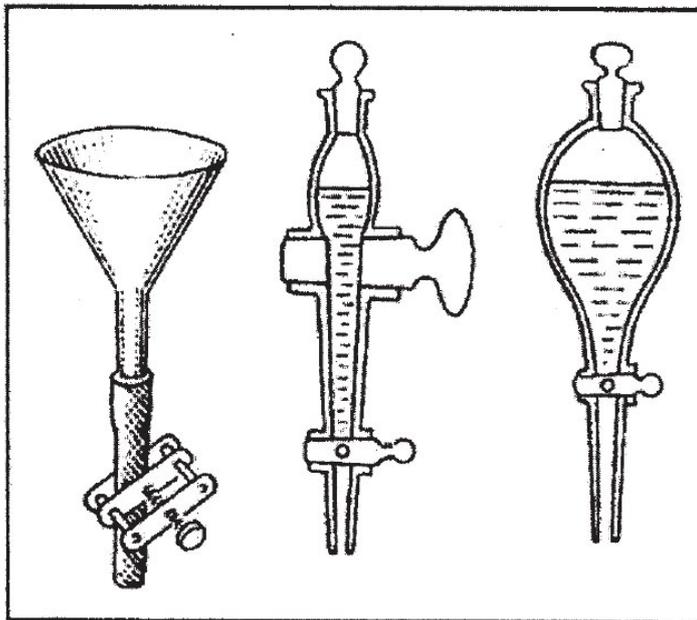


Рис. 15. Лійки, що використовуються для розділення мінералів у важких рідинах, за [7]

Використані важкі рідини з вмістом розчинників втрачають свою первинну вагу, а також забруднюються.

Вторинне використання рідин допустиме лише після встановлення їхньої питомої ваги. Якщо розділення відбувалося за допомогою рідини Туле, і розчинником виступала вода, то відновлення її питомої ваги відбувається у результаті випаровування.

Якщо розділення мінералів відбувалося завдяки бромформу, а розчинником був спирт, то отриману суміш по закінченню роботи зливають у велику мірильну лійку і заливають дистильованою водою. Спирт поступово вилуговується водою, а бромформ збирається на дні лійки і зливається через кран в іншу посудину. Деколи вилучений бромформ буває мутним, унаслідок присутності захоплених ним крапель води. Для дегідратації у бромформ опускають кілька шматочків негашеного вапна і відфільтровують очищений бромформ.

Перед повторним використанням регенованих важких рідин необхідно перевірити їхню питому вагу за допомогою індикатора чи пікнометра.

### 3. Петрохімічні дослідження осадових порід

Геометричні методи кількісного мінералогічного аналізу пропонуються студентам, оскільки вони практично не мають можливості виконувати хімічні аналізи лабораторним шляхом. Знання ж хімічного складу породи необхідне для її петрографічної характеристики і з'ясування питань генезису. Для цих цілей використовують інтеграційний столик Андина (ІСА) (рис.16).

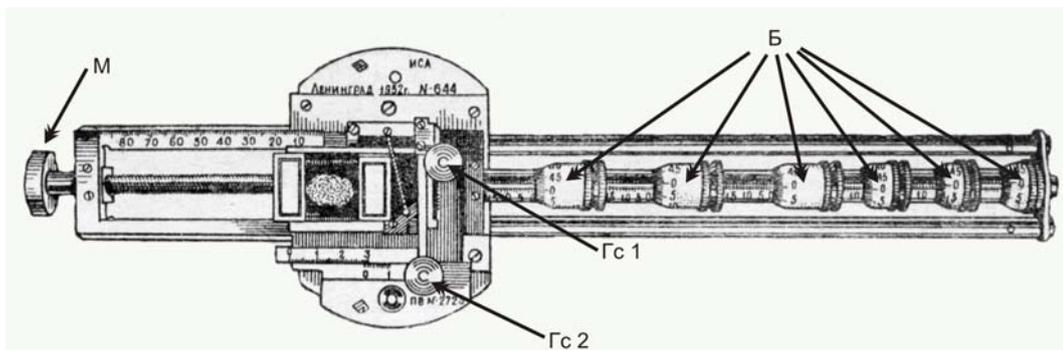


Рис. 16. Столик Андина

Столик складається з основи, в нижній частині якої є два отвори для прикріплення столика за допомогою спеціальних гвинтів до предметного столика мікроскопа. На цій основі змонтовані всі основні деталі приладу – напрямні, в яких переміщуються салазки (С) з панеллю, що має отвір для кріплення салазок, маховичок (М) для повернення шліфа в первісне положення після замірів однієї горизонтальної лінії (коли шліф переміщують цим маховичком, барабанчики не обертаються, тобто не змінюють отримані результати). Гвинти салазок (ГС-1, ГС-2) слугують один (ГС-1) для переміщення шліфа по вертикалі, а інший – для пропуску порожнин у шліфі (коли вони наявні). На завершення шість розрахункових барабанчиків (Б), обертанням яких підраховують довжину кожного мінерала. Точність відліку по барабанчиках – 0,001 мм.

Порядок роботи при підрахунках інтеграційним столиком Андина:

1. На шліфі тушшю зображають квадрат площею 1 см<sup>2</sup>.
2. Визначають під мікроскопом мінералогічний склад породи і вибирають, на якому барабанчику будуть підраховувати довжину ліній конкретного мінералу.
3. Установлюють у салазки шліф і визначають середній розмір зерен (із тим об'єктивом, з яким буде проводитися розрахунок).
4. Встановлюють усі барабанчики на столику в нульове положення, а центр окулярного перехрестя суміщають з верхньою лівою вершинкою зображеного тушшю квадрата.
5. Залежно від того, який мінерал стоїть на центрі окулярного перехрестя, обертають відповідний барабанчик (від себе) і переміщують шліф по горизонтальній лінії до тих пір, поки на хресті ниток окулярного перехрестя не з'явиться інший мінерал. Тоді починають обертати барабанчик, який відповідає цьому мінералу. Так, обертуючи різні барабанчики, обчислюють першу горизонтальну лінію.
6. Маховичком (М) для вільного переміщення ставлять шліф у первісне положення.
7. Гвинтом салазок (ГС-1) переміщують шліф у вертикальному напрямку на середню величину зерна.
8. Аналогічно до підрахунків по першій горизонтальній лінії, підсумовують довжини відрізків для мінералів по інших горизонтальних лініях, переміщуючи кожен ряд по вертикалі на середню величину зерна і повертаючи маховичком (М) у первісне положення (до лівої вертикальної лінії).
9. За отриманими сумарними довжинами ліній (лінійними кількостями), прийнявши за 100% загальну довжину лінії для всіх мінералів, обчислюють об'ємні проценти мінералів.
10. Помноживши об'ємні проценти кожного мінерала на його питому вагу (брати з довідників), розраховують вагові кількості.
11. Прийнявши суму вагових кількостей за 100%, із пропорції розраховують вагові відсотки кожного мінерала, який входить до складу породи (табл. 14).

Таблиця 14

**Розрахунок кількісних співвідношень мінералів у пісковіку**

Назва мінералів	Лінійні кількості	Об'ємні %	Питома вага, г/см <sup>3</sup>	Вагові кількості	Вагові %
Альбіт	69,2	39,1	2,62	102,4	38,56
Кварц	57,3	32,4	2,65	85,86	32,33
Гідро-мусковіт	24,5	13,8	2,72	37,54	14,14
Хлорит	15,6	8,8	2,80	24,64	9,28

(пенін)					
Мікроклін	10,4	5,9	2,56	15,10	5,69
Сума	177	100		265,54	100

Після визначення вагового співвідношення мінералів (у вагових відсотках) можна здійснити перерахунок мінералогічного складу породи на хімічний. Методики перерахунку існують різні, скористаємось методикою за допомогою коефіцієнтів [1].

Коефіцієнт для перерахунку процентних вмістів елементів, оксидів і мінералів становить собою частку від ділення 100% вмісту на атомну, формульну, молекулярну масу. Наприклад, коефіцієнт для SiO<sub>2</sub> дорівнює:

$$\begin{aligned} 100\% \text{ SiO}_2 &= 1,664 \\ 55,1 \text{ SiO}_2 &= x \\ x &= 55,1 * 1,664 / 100 = 0,917 \end{aligned}$$

Таким чином, для визначення формульної кількості даного процентного вмісту якогось компонента необхідно процентний вміст цього компонента помножити на відповідний коефіцієнт в відділити необхідну кількість знаків (тобто отримане значення поділити на 100).

Спочатку, для отримання петрохімічних коефіцієнтів, необхідно знати кристалохімічні формули мінералів (наведені в численній мінералогічній літературі) і мати перед собою періодичну таблицю Д. І. Менделєєва, або скористатись Довідником, де ці коефіцієнти розраховані за В. П. Авідоном (1976) [1].

Методика розрахунку петрохімічного складу пісковика наведена в табличній формі (таблиця заповнюється знизу догори і справа наліво) (табл. 15).

\* - коефіцієнт для перерахунку дорівнює: 100 / формульну масу мінералу.

\*\* - одиниця розрахунку дорівнює : коефіцієнт для перерахунку \* мінеральний склад в % / 1000 (для альбіту : 0,1907\*38,56/100\*100=73.

\*\*\* - масова концентрація в % визначається : сума формульних кількостей оксиду \* на молекулярну вагу оксиду / 1000 (для SiO<sub>2</sub> 60,09\*1261/1000=75,77%).

Для розрахунків мінерального складу і перерахунків його на хімічний, для мікрозернистих порід (аргілітів, алевролітів, глин). Коли оптично-геометричні методи не дають практично результатів, пропонується рентгенівський (дифрактометричний) аналіз. Методика така:

Таблиця 15

**Розрахунок хімічного складу пісковика за даними мінералогічного аналізу шліфа**

Окисли	Масова	Масова	Сума фор-	Альбіт	Кварц	Гідро	Орто-	Пеліт
--------	--------	--------	-----------	--------	-------	-------	-------	-------

	кон-ція в % в перерах унку на 100 %	* кон- ція*** в %	мульних коэф. *1000	Формульна маса				
						мусковіт	клаз	
				524,482	60,09	765,576	256,25	618,95
								4
SiO <sub>2</sub>	71,42	75,77	1261	438	538	108	132	45
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,51	16,72	164	73		54	22	15
MgO	1,70	1,81	45					45
FeO	2,03	2,16	30					30
CaO	0	0	0					
K <sub>2</sub> O	2,74	2,92	31			9	22	
Na <sub>2</sub> O	4,25	4,52	73	73				
H <sub>3</sub> O	0,32	0,34	18			18		
H <sub>2</sub> O	1,63	1,73	96			36		60
Сума	100	106						
**Одиниця розрахунку				73	538	18	22	15
*Коефіцієн т для перерахунк у				0,1307	1,6642	0,10301	0,3902	0,1616
Мінеральн ий склад			100	38,56	32,33	14,14	5,69	5,28

зробити дифрактограму породи;

- 1) використовуючи базу рентгенівських даних [9], ідентифікувати кожен мінерал, який входить до складу породи;
- 2) на дифрактограмі провести базову лінію (лінію відліку) і за допомогою лінійки від базової лінії виміряти інтенсивності усіх піків кожного мінералу в міліметрах;
- 3) отримані дані по всіх мінералах, які входять до складу породи, підсумувати, і суму прийняти за 100%;
- 4) скласти відповідну пропорцію, із якої знайти вміст кожного мінералу в об'ємних процентах;
- 5) об'ємні проценти перерахувати у вагові та розрахувати хімічний склад породи за методикою, наведеною в табл. 16.

Мінеральний склад кори звітрювання: гідро-мусковіт (45%), каолінит (25%), пенін (5%), кальцит (10%), кварц (10%), мікроклін (5%). Усі розрахункові дані наведені в табл. 16, яка заповнюється знизу догори і справа наліво.

Для розрахунків мінерального складу карбонатних порід також надається перевага рентгенівському (дифрактометричному) методу, оскільки точніше можна встановити мінеральний склад карбонатів (особливо коли вони перебувають в суміші) і їх процентне співвідношення, що в подальшому сприяє точнішому розрахунку хімічного складу карбонатних порід.

Встановивши петрохімічний склад осадових порід для подальшого їх вивчення, використовують численні модулі – відношення різних петрогенних компонентів. Використання модулів обумовлено тим, що абсолютні вмісти компонентів у породах не завжди можна використовувати в генетичних або класифікаційних цілях. Для розрахунків модулів (відношення різних петрогенних компонентів) використовуються або масові вмісти оксидів (у %), або їхні молекулярні кількості.

Гідролізатний модуль (ГМ):  $Al_2O_3 + TiO_2 + Fe_2O_3 + FeO / SiO_2$  призначений [21] для встановлення однієї із головних тенденцій хімічного звітрювання: відділення продуктів гідролізу від кремнезему. ГМ можна вважати універсальним для будь-яких теригенних і кременистих порід, за винятком порід із високим вмістом FeO в карбонатній і сульфідних формах. За значеннями ГМ теригенні та кременисті породи класифікуються таким чином:

Таблиця 16

Розрахунок хімічного складу кори звітрювання  
за В. П. Авідомом 1976 [1]

Оксиди	Масова концентрація, % в перерахунку на 100%	Масова концентрація, %	Сума формульних кількостей ×1000	Гідромусковіт	Каолініт	Пенін	Кальцит	Кварц	Мікроклін
SiO <sub>2</sub>	47,41	47,59	792	354	194	24		166	54
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	29,56	29,67	291	177	91	8			9
MgO	0,97	0,97	24			24			
CaO	5,59	5,61	100				100		
CO <sub>2</sub>	4,38	4,40	100				100		
FeO	1,15	1,15	16			16			
K <sub>2</sub> O	3,66	3,67	39	30					9
H <sub>3</sub> O	1,12	1,12	59	59					
H <sub>2</sub> O	6,18	6,20	344	118	194	32			
Сума	100,02	100,38	1765	738	485	104	200	166	72

**Одиниця розрахунку				59	97	8	100	166	9
*Коефіцієнт для перерахунку				0,130111	0,387339	0,161563	0,999091	1,664170	0,179630
Мінеральний склад			100	45	25	5	10	10	5

> 0,10 – силіцити, мономіктові кварцові пісковики, кварцити;

0,10-0,20 – слабглинисті силіцити, олігоміктові кварцові пісковики і алевроліти;

0,20-0,30 – глинисті силіцити, мезоміктові й поліміктові кварцові пісковики і алевроліти;

0,30-0,50 – глинисті породи, деякі основні грауваки;

> 0,50 – гідролізатні глинисті породи, які містять або каолінит, або вільні оксиди Al, Mn, Fe.

Алюмокремнієвий модуль (AM)  $Al_2O_3 / SiO_2$  відображає ту ж тенденцію хімічного звітрювання, що і (ГМ). Під назвою кремнієвий модуль це відношення використовується для класифікації бокситів. Усі породи з модулем вище 0,85 належать до алітів (суттєво складені з гідратів глинозему). Породи з модулем 0,85, або близьким до нього належать до сіалітів [5].

Натрієвий модуль (НМ)  $HM=Na_2O / Al_2O_3$  – відображає процес хімічного звітрювання породи, при якому руйнуються плагіоклази. У пісках НМ значно вищий ніж у глинах. Позитивними значеннями НМ характеризуються кременисті осадки. Різка зниження до 0,01 характерне тільки для гідролізатних осадків. Екстремально високі значення НМ характерні для граувак [5].

Калієвий модуль (КМ)  $KM = K_2O / Al_2O_3$ . Важливий геохімічний показник.  $KM < 0,10$  – у породі переважають хлорити (коли відношення  $Na_2O / K_2O$  незначне) або плагіоклази;  $KM = 0,10-0,30$  – гідрослюди + хлорит (+ плагіоклаз). При низькому значенні  $Na_2O / K_2O$  – гідрослюди + хлорит  $KM = 0,30-0,90$  – гідрослюди + ортоклаз.  $KM > 0,90$  – ортоклаз + стильпномелан, або при великому значенні  $Na_2O / K_2O$  – ортоклаз + плагіоклаз, що характерно для аркозів [5].

Загальна нормативна лужність (ЗНЛ).  $ЗНЛ = Na_2O + K_2O / Al_2O_3$ . ЗНЛ є високоінформативним параметром при діагностиці вулканогенного матеріалу в основних породах. Для звичайних уламкових і глинистих теригенних порід величина цього

показника не перевищує 0,20-0,40, що відповідає стандартним вмістам слюд і польових шпатів. Збільшення ЗНЛ, тобто збільшення вмісту польових шпатів може свідчити про домішки вулканогенного матеріалу в породах.

Залізний модуль (ЗМ)  $ZM = FeO + Fe_2O_3 + MnO / Al_2O_3 + TiO_2$ . ЗМ призначений для характеристики пелітових продуктів гідролізу. Нормальні значення цього модуля більшості теригенних порід значно менші від одиниці (0,20-0,60). Значення  $< 0,20$  характеризують глиноземистий склад пелітів, а  $> 0,60$  – залізистий. На значення ЗМ впливають Fe або Mn, які містяться в породі у сульфідній або карбонатній формі [5].

Показник «зрілості» Ф. Петтиджона [10] (ПЗП)  $SiO_2 / Al_2O_3$ . Велике значення (ПЗП) характерне для «зрілих», багатих на кварц пісковиків, які містять невеличку кількість глин або уламкових алюмосилікатів. Низьке значення цього параметра вказує на «незрілі» пісковики. «Зрілість» осадових порід визначається відносною стійкістю мінералів в умовах звітрювання, яке збільшується в напрямку ряду олівін – піроксени – рогові обманки – біотит – анортит – альбіт – КПШ – мусковіт (гідро-мусковіт) – кварц. Кінцевим результатом цього процесу є повне перетворення вихідного матеріалу і відкладання чисто кварцових пісків в асоціації з глинистими і карбонатними породами.

Плагіоклазовий модуль (ПМ)  $PM = Na_2O + CaO / K_2O$  дає можливість розрізнити глинисті й вапняковисті осадки. Глинисті породи характеризуються низькими значеннями модуля, тоді як у карбонатних осадків ця величина велика завдяки збагаченню CaO і низькому значенню K<sub>2</sub>O.

Для більш детального аналізу кластогенних, карбонатних та глинистих порід і для встановлення їх фаціальної та генетичної приналежності використовуються також різноманітні діаграми.

За допомогою діаграми AF [13] [  $A = Al_2O_3 - (Na_2O + K_2O + CaO')$ ,  $CaO' = CaO - CO_2$ ;  $F = FeO + Fe_2O_3 + MgO / SiO_2$  (вмісти оксидів у молекулярних кількостях). Для кластогенних алюмосилікатних осадових утворень можна розподіляти ці утворення за окремою глиноземістістю (параметр А) на високоглинисті, глинисті, малоглинисті й перехідні до туфітів утворення та за фемічністю (параметр F) - на кварцові, польовошпат-кварцові та слюдисто-кварцові, аркозові, субграувакові, граувакові й мелановакові (рис. 17).

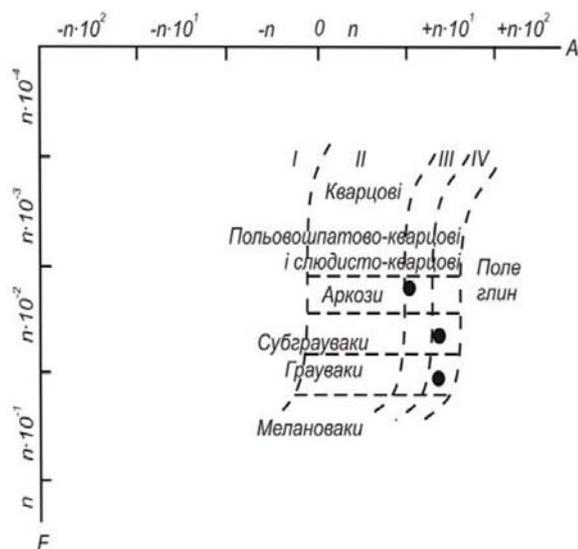


Рис. 17. Співвідношення полів кластогенних осадових утворень у зоні AF (за Предовським). По вертикалі – класи за фемічністю - від кварцових порід до мелановак. По горизонталі – різниця за часною глиноземистістю: I – перехідні до туфітів і туфіти; II - малоглинисті; III – глинисті; IV – високоглинисті. Точки – середні значення порід по класах

Межі коливань параметра F наведені у табл. 17.

Таблиця 17

**Межі коливань параметра F**

Клас порід	Межі значень параметра F
Кварцові	0,001 – 0,007
Польовошпат–кварцові, Слюдисто–кварцові	0,007 – 0,015
Аркозові	0,015 – 0,045
Субграувакові	0,045 – 0,080
Граувакові	0,080 – 0,250
Мелановакові	0,250 – 0,600

Для визначення назви і генетичної характеристики карбонатвмісних порід використовується діаграма МАК, де  $M = \text{MgO} / \text{CaO}$ ;  $A = \text{Al}_2\text{O}_3 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ ;  $K = \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  (вміст оксидів у молекулярних кількостях (рис. 18)).

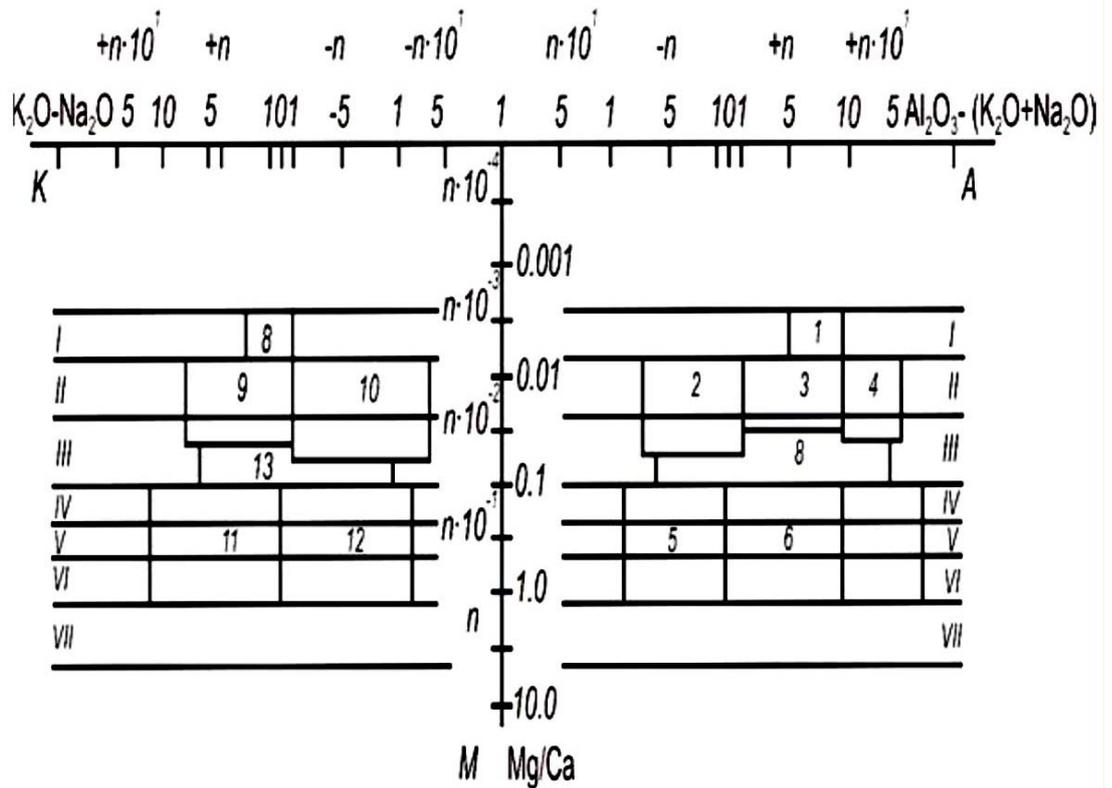


Рис. 18. Діаграма МАК для систематики й інтерпретації складу карбонатних осадових і метаосадових порід. За. О. О. Предовським (1980) [7]. Градації за співвідношенням магнезії та вапна: I – вапняки з мінімальним складом магнезії; II – вапняки звичайні; III – вапняки слабомагнезіальні; IV – вапняки доломітові; V – доломіти вапнякові; VI – доломіти; VII – доломіти з домішкою магнезиту. 1-9 особливо чисті від магнезії та силікатної домішки вапняки стабільних зон седиментації; 3, 10 – звичайні вапняки; 4, 10 – глинисті й чисті вапняки; 2, 11 – травертини, вапнисті туфи, вапняки окремих вулканогенно-осадових фацій; 13, 3 – різні типи слабомагнезіальних вапняків – від таких, які містять теригенну глинисту домішку з високими значеннями параметрів А та К, до порід віддалених вулканогенно-осадових фацій із низькими значеннями А та К; 5, 6, 7 у поєднанні з 11 – різноманітні доломітові вапняки, вапнисті доломіти і доломіти, найчастіше підлегли теригенно-осадовим фаціям; 5, 6, 7 у поєднанні з 12 – ті ж породи, але підлегли вулканогенно-осадовим фаціям, у тому числі кременисті доломіти різних епох

Для розпізнавання пелітів за зіставленням з еталонними групами глин і близьких утворень пропонується діаграма ФАК, де  $F = \text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO} / \text{SiO}_2$ ;

$A = \text{Al}_2\text{O}_3 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO}')$ ,  $\text{CaO}' = \text{CaO} - \text{CO}_2$ ;  $K = \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ . Коефіцієнти надаються в молекулярних кількостях оксидів за А. А. Предовським (1980) [11] (рис. 19).

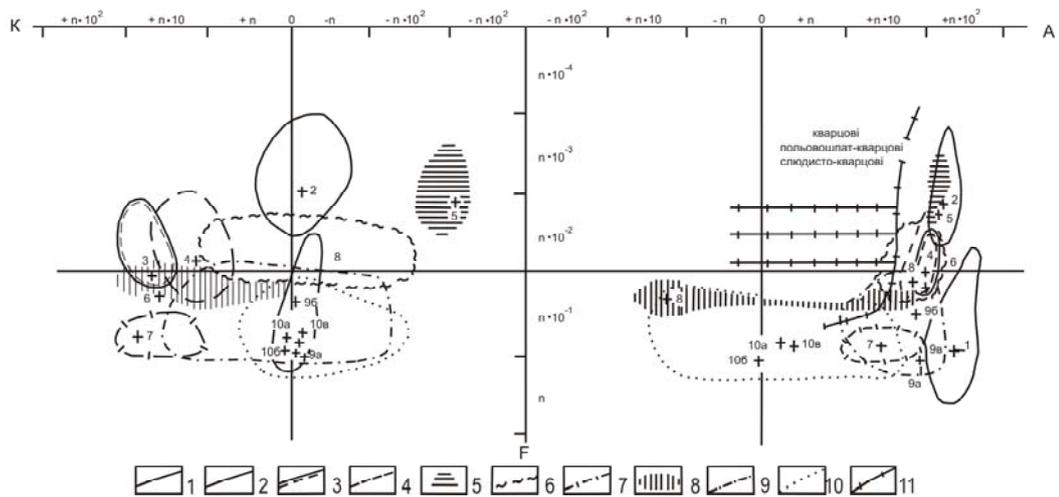


Рис. 19. Діаграма ФАК для розпізнавання метапілітів за зіставленням з еталонними групами глин і близьких до них утворень за А. А. Предевським (1980) [11]

Межі полів і середній вміст еталонних груп: 1 – латеритні глини – боксити; 2 – каолініт; 3 – діоктаедричний калійовий іліт, 4 – змішані гідролудисті глини калієвого спрямування; 5 – брамаліт; 6 – монтморилонітові глини; 7 – гідробіотит; 8 – глауконіт-саладоніт; 9 – загальне поле для трьох груп: а – коінохлор-пенін, б – вермикуліт-палегорськіт-сапоніт; в – серпентиніт-талък-сепіоліт; 11 – межі полів глин і уламкових порід

Крім запропонованих діаграм, можна використовувати й інші, які відображають особливості седиментогенезу.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Авидон В. П. Коэффициенты для минералогических и петрохимических пересчетов / В. П. Авидон. – М. : Недра, 1976. – 161 с.
2. Брадис Б. М. Четырехзначные таблицы / Б. М. Брадис. – М. : Дрофа, 2010. – 93 с.
3. Вассоевич Н. Б. Справочник по литологии / Н. Б. Вассоевич – М. : Недра, 1983. – 509 с.
4. Гринсмит Д. Т. Петрология осадочных пород / Д. Т. Гринсмит. – М. : Мир, 1981. – 253 с.
5. Ефремова С. В. Петрохимические методы исследования горных пород: Справ. пособие / С. В. Ефремова, К. Г. Стафеев. – М. : Недра, 1985. – 512 с.
6. Казанский Ю. П. Осадочные породы (классификация, характеристика, генезис) / Ю. П. Казанский, А. Ф. Белоусов, В. Г. Петров. – Новосибирск : Наука, 1987. – 212 с.
7. Логвиненко Н. В. Петрография осадочных пород с основами методики исследования : учеб. пособие / Н. В. Логвиненко. – М. : Высшая школа, 1984. – 414 с.
8. Ломтадзе В. Д. Физико-механические свойства горных пород. Методы лабораторных исследований : учеб. пособие / В. Д. Ломтадзе. – Л. : Недра, 1990. – 327 с.
9. Михеев В. И. Рентгенометрический определитель минералов / В. И. Михеев. – М. : Госгеотехиздат, 1957. – 869 с.
10. Петтиджон Ф. Пески и песчаник. Ч. 2. / Ф. Петтиджон, П. Поттер, Р. Сивер. – М. : Мир, 1976. – 536 с.
11. Предевский А. А. Реконструкции условий седиментогенеза и вулканизма раннего докембрия / А. А. Предевский. – Л. : Наука, 1980. – 152 с.

12. *Преображенский И. А.* Минералы осадочных пород (применительно к изучению нефтеносных отложений) / И. А. Преображенский, С. Г. Саркисян – М. : Гостоптехиздат, 1954. – 462 с.
13. *Соболев Р. Н.* / Методы петрохимических пересчетов горных пород и минералов / Р. Н. Соболев, В. И. Фельдман. – М. : Недра, 1984. – 224 с.
14. *Страхов Н. М.* Методы изучения осадочных пород. Том 1. / Н. М. Страхов. – М. : Госгеотехиздат, 1957. – 468 с.
15. *Фролов В. Т.* Руководство к лабораторным занятиям по петрографии осадочных пород / В. Т. Фролов – М. : МГУ, 1964. – 310 с.
16. *Фролов В. Т.* Литология. Том 2 / В. Т. Фролов. – М. : МГУ им. Н. В. Ломоносова, 1992 – 335 с.
- 17 *Хмельівський В. О.* Петрографія осадових порід. Таблиці та рисунки до лабораторних робіт / В. О. Хмельівський, І. В. Побережська, О. В. Костюк, І. Г. Гнатів. – Львів. : ЛНУ, 2006. – 106 с.

## Зміст

	стор
Вступ.....	3
1. Основні класифікації осадових порід.....	5
2. Основні лабораторні методи дослідження осадових порід.....	25
2.1 Гранулометричний аналіз псамітових і алевролітових порід..	27
2.2. Гранулометричний аналіз глинистих порід.....	43
2.3. Визначення карбонатності гірських порід і нерозчинного залишку.....	46
2.3.1. Газооб'ємний метод визначення карбонатності.....	47
2.3.2. Ваговий метод визначення карбонатності.....	50
2.4. Визначення карбонатних порід методом фарбування.....	52
2.5. Використання важких рідин у літологічних дослідженнях.	58
3 Петрохімічні дослідження осадових порід.....	65
Список літератури.....	78
Зміст.....	77

