

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»

\_\_\_\_\_ (інститут)  
\_\_\_\_\_ Природничих наук і технологій \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ (факультет)  
Кафедра \_\_\_\_\_ Геології та розвідки родовищ корисних копалин \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ (повна назва)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
**кваліфікаційної роботи ступеня бакалавра**  
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студента \_\_\_\_\_ Шмалько Ольги Романівни \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ (ПІБ)  
академічної групи \_\_\_\_\_ 103-18ск-1 \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ (шифр)  
спеціальності \_\_\_\_\_ 103 Науки про Землю \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ (код і назва спеціальності)  
**спеціалізації<sup>1</sup> за освітньо-професійною програмою «Геологія»**  
\_\_\_\_\_ (за наявності)

\_\_\_\_\_ (офіційна назва)  
на тему: \_\_\_\_\_ Речовинний склад і технологічні властивості фосфоритів  
Малокомишуваського родовища \_\_\_\_\_

(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Куцевол М.Л.			
розділів:				
Загального	Куцевол М.Л.			
Спеціального	Куцевол М.Л.			
<b>Рецензент</b>	Шевченко С.В.			
<b>Нормоконтролер</b>	Хоменко Н.В.			

Дніпро  
2021

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**

завідувач кафедри

Геології та розвідки родовищкорисних копалин

(повна назва)

Савчук В.С.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

«03» травня 2021 року

**ЗАВДАННЯ**  
**на кваліфікаційну роботу**  
**ступеня** бакалавра  
 (бакалавра, спеціаліста, магістра)

студенту Шмалько О. Р. академічної групи 103-18ск-1  
 (прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 103 Науки про Землю

спеціалізації<sup>1</sup> за освітньою-професійною програмою «Геологія»  
 (за наявності)

на тему Речовинний склад і технологічні властивості фосфоритів  
Малокомишухаського родовища

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 19.05.21 р. № 273-с

Розділ	Зміст	Термін виконання
Загальний	Пошук та узагальнення інформації щодо геології і мінералогії фосфоритів. Характеристика геологічної будови району досліджень.	03.05.21-15.05.21
Спеціальний	Вибір методів дослідження фосфоритів	16.05.21-23.05.21
Спеціальний	Вивчення речовинного складу і збагачуваності фосфоритів Малокомишухаського родовища	24.05.21-10.06.21

Завдання видано

(підпис керівника)

Куцевол М.Л.

(прізвище, ініціали)

Дата видачі 03.05.21 р.Дата подання до екзаменаційної комісії 15.06.21 р.

Прийнято до виконання

(підпис студента)

Шмалько О.Р.

(прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 56 с., 1 табл., 7 рис., 3 додатки, 17 джерел.

ФОСФОРИТИ, МІНЕРАЛЬНИЙ СКЛАД, ХІМІЧНИЙ СКЛАД,  
ГРАНУЛОМЕТРІЯ, ЗБАГАЧУВАНІСТЬ

Предмет дослідження – речовинний склад і технологічні властивості фосфоритів Малокомишувахського родовища.

Об'єкт дослідження – Малокомишувахське родовище фосфоритів.

Мета роботи – вивчення речовинного складу та технологічних властивостей фосфоритів Малокомишувахського родовища.

Результати та їх новизна – вивчено мінеральний і хімічний склад жовнових фосфоритів Малокомишувахського родовища, встановлено відмінність у вмісті фосфору у фосфоритах різних ділянок родовища, розроблено прогнозну схему збагачення фосфоритової руди.

Взаємозв'язок з іншими роботами – продовження наукової діяльності кафедри геології і розвідки родовищ корисних копалин Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» в сфері вивчення корисних копалин України осадового походження.

Сфера застосування – розробка технології збагачення фосфоритових руд.

Практична значимість кваліфікаційної роботи – впровадження результатів дослідження буде сприяти вирішенню проблеми забезпечення сільського господарства України фосфатними добривами.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....		6
1	АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	8
1.1	Загальні відомості про геологію і мінералогію фосфоритів.....	8
1.2	Фосфоритові родовища на території України.....	12
1.3	Використання і технологічні властивості фосфоритів.....	14
2	ГЕОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНУ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	19
2.1	Географічна характеристика району.....	19
2.2	Геологічна будова району.....	19
3	МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ.....	31
3.1	Вивчення гірських порід у шліфах за допомогою поляризаційного мікроскопа .....	31
3.2	Рентгенофлуоресцентний аналіз (РФА).....	31
3.3	Рентгеноструктурний аналіз (РСА).....	33
3.4	Гранулометричний аналіз.....	35
4	ХАРАКТЕРИСТИКА РЕЧОВИННОГО СКЛАДУ І ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ФОСФОРИТІВ.....	39
4.1	Вивчення речовинного складу і технологічних властивостей фосфоритів.....	39
4.2	Вивчення фосфатного мінералу проб.....	44
4.3	Розробка схеми обробки проб та рекомендацій по збагачуванню фосфоритів.....	46
	ВИСНОВКИ .....	50
	ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ .....	51
	ДОДАТОК А Відомість матеріалів кваліфікаційної роботи .....	53
	ДОДАТОК Б Відгук керівника кваліфікаційної роботи.....	54
	ДОДАТОК В Рецензія.....	55

## ВСТУП

Великою проблемою для сільського господарства України є зменшення об'єму застосування фосфатних мінеральних добрив через їх високу вартість. Раніше більшу частину агрохімічної сировини для виготовлення фосфатних добрив українські виробники експортували з Росії, зараз замість неї відбувається експорт більш вартісної сировини з інших країн. Зменшення застосування фосфатних добрив призводить до суттєвого зниження врожаю сільськогосподарських культур.

Одним з шляхів вирішення проблеми забезпечення українських фермерів відносно недорогими фосфатними добривами є застосування мелених фосфоритів. В Україні фосфорити є досить поширеними, але не утворюють великих родовищ. Крім того, фосфорити цих родовищ мають невисоку концентрацію  $P_2O_5$  і через це не можуть бути перероблені в суперфосфат. Але можливе застосування місцевої сировини у вигляді фосфоритного борошна, що значно знизить собівартість і ціну добрив. Наприклад, у Харківській області відомі фосфорити в Ізюмському районі, які можна було б застосовувати для потреб землеробства у цій області.

Актуальність теми даної кваліфікаційної роботи зумовлена тим, що Україна потребує збільшення видобутку власної фосфатної руди і зменшення імпорту цієї сировини. Тому фосфоритові руди Малокомишувахського родовища у Харківській області повинні бути досліджені на предмет речовинного складу та технологічних властивостей, для визначення якості фосфоритів і розробки адекватної технології їх переробки.

Підставою для виконання кваліфікаційної роботи був наказ ректора НТУ «Дніпровська політехніка» про затвердження тем кваліфікаційних робіт бакалаврів.

Об'єктом дослідження у роботі є Малокомишувахське родовище фосфоритів.

Предмет дослідження — речовинний склад та технологічні особливості фосфоритів Малокомишувахського родовища.

Метою роботи є вивчення мінерального і хімічного складу та технологічних властивостей фосфоритів Малокомишувахського родовища.

Для досягнення поставленої мети було необхідно виконати наступні задачі:

- 1) вивчити геологічну будову району досліджень;
- 2) проаналізувати літературу, присвячену фосфоритам;
- 3) обрати методи дослідження фосфоритів;
- 4) дослідити прозорі шліфи, виготовлені з фосфориту, за допомогою поляризаційного мікроскопа, для встановлення їх мінерального складу і структури; для уточнення діагностики мінерального складу фосфориту вивчити результати рентгеноструктурного аналізу;
- 5) вивчити мінеральний і хімічний склад різних фракцій дроблених фосфоритів, а також їх радіологічні властивості для визначення технологічних властивостей фосфоритів родовища;
- 6) розробити прогностну схему обробки проб і збагачення фосфоритової руди.

Матеріалом для дослідження були проби фосфоритової руди та шліфи, виготовлені з фосфоритів.

Практичне значення роботи: впровадження результатів дослідження буде сприяти вирішенню проблеми забезпечення сільського господарства України фосфатними добривами.

Структура дипломної роботи зумовлена логікою виконання згаданих вище завдань. Робота включає наступні частини: вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел інформації, додатки.

Не для копіювання 103-18СК-1

## 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

### 1.1 Загальні відомості про геологію і мінералогію фосфоритів

Фосфорит – осадова гірська порода, яка складається більш ніж на 50% із аморфних або мікрокристалічних фосфатів кальцію (переважно апатиту). Вміст  $P_2O_5$  у фосфориті змінюється від 4% до 20%. Домішками є оксиди феруму (гетит та інші мінерали), кальцит, глинисті мінерали та ін.

Фосфоритова руда являє собою мінеральний агрегат, що містить приховано- або мікрокристалічні фосфати кальцію із групи апатиту в такій кількості і в такій формі, що можлива і економічно доцільна їх переробка за допомогою наявних технологічних засобів [15].

Колір чистих фосфоритів білий, але в природі вони переважно чорні або сірі, рідко зелені, жовті, залежно від домішок. Текстура масивна, жовноподібна, шарувата, натічна. Структура пелітоморфна та явнзерниста. В уламкових породах фосфати нерідко грають роль цементу, зустрічаються у вигляді уламкових зерен; в глинистих породах часто присутні фосфатизовані органічні залишки [15].

Головними породотвірними мінералами фосфоритів є мінерали групи апатиту (виділяють гідроксилапатит, даліт або подоліт, франколіт, курськіт, колофаніт), а також карбонати Ca, Mg, Fe і глауконіт [14]. Згідно з номенклатурою мінералів, франколіт — це синонім мінералу карбонат-фторапатит, а курськіт є його різновидом.

Властивості мінералів групи апатиту описані нижче.

Даліт (подоліт) – безбарвний або жовто-бурий,  $n_g = 1,635-1,598$ ,  $n_p=1,631-1,592$ ,  $n_g - n_p=0,004$ , оптично одновісний, густина 3,08-3,12 г/см<sup>3</sup>, хімічна формула  $Ca_{10}(PO_4CO_3)$ , розчиняється в HCl.

Курськіт – безбарвний, сірий  $n_m=1,595-1,600$ , двозаломлення 0,007, частіше колоїдний та ізотропний, рідше - кристалічний мікрозернистий або



радіально-променевиий, густина 2,9 – 3,0 г/см<sup>3</sup>, хімічний склад змінний, розчиняється в HCl.

Франколіт (штафеліт) – безбарвний, сірий,  $n_g=1,614-1,627$ , двозаломлення 0,004-0,009, одновісний, оптично від'ємний, густина – 3,18-3,21 г/см<sup>3</sup>, хімічна формула  $Ca_{10}P_5,2C_{0,8}F_{1,8}(OH)$ , розчиняється в HCl.

Колофаніт - безбарвний або жовто-бурий, колоїдний – ізотропний ( $n_g=1,570-1,630$ ), густина – 2,6-2,9 г/см<sup>3</sup>, хімічний склад такий, як у франколіту, розчиняється в HCl

Апатит - безбарвний, бурий, оптично одновісний,  $n_g=1,634-1,667$ ,  $n_p=1,629-1,664$ ,  $n_g - n_p=0,004$ ), густина – 3,18-3,21 г/см<sup>3</sup>, розчиняється в HCl [14].

Розрізняють три мінеральні види групи апатиту: фторапатит  $Ca_5[PO_4]_3F$ , хлорапатит  $Ca_5[PO_4]_3Cl$ , гідроксилапатит  $Ca_5[PO_4]_3OH$ .

Зазвичай мінерали групи апатиту зустрічаються у вигляді кристалічних агрегатів і окремих призматичних чи голчастих кристалів, рідше спостерігаються кристали короткостовпчастого й таблитчастого обрису. В осадових гірських породах зустрічаються кулеподібні шкаралупчасті агрегати з радіально-променевою будовою, а також тонкозернисті або суцільні конкреції та жовна. Вони складаються з дрібних або колоїдних часток фосфату кальцію з різними домішками. Власне апатит трапляється в найбільше змінених фосфоритах, у платформних мезозойських і кайнозойських відкладах [2].

Другорядні мінерали фосфоритів представлені опалом, халцедоном, кварцом, сульфідами заліза і важких металів. Усі ці мінерали, за винятком глауконіту і кварцу (які можуть бути алотигенними й аутигенними), є аутигенними – утворюються в процесі діагенезу осаду і подальших змін гірської породи. Фосфорити також вміщують органічну речовину і наступні алотигенні (терігенні) мінерали піщаної, алевролітової та пелітової розмірності: польові шпати, слюди, глинисті мінерали.

За умовами залягання та петрографічними особливостями, походженням виділяють наступні фосфорити: пластові, конкреційно-променисті, фосфоритовий черепашник, метаморфізовані, зернисті, жовнові.

Зернисті фосфоритові руди по зовнішньому вигляду нагадують різнозернисті піщаники і піски. Фосфатні компоненти представлені зернами розміром від 0,1 до 3-10 мм і органогенним матеріалом, який складений з уламків фосфатного черепашкового вапняку, кісток і зубів риб. Зернистий фосфатний матеріал складає 50-80% породи. Цемент карбонатний, кременистий або кременисто-карбонатний, інколи з домішками глинистої речовини, що взагалі і визначає розділ руд на мінералогічні різновиди [15].

Конкреційно-променисті фосфорити представляють собою кулясті утворення розміром до 20 см, що залягають в глинистих породах. В Україні такі фосфорити зустрічаються в районі Могилева-Подільського. Забарвлення цих утворень чорне або коричнево-чорне, поверхня глянцева, горбкувата. На площині розколу конкреції чітко видно радіально-променисту будову, а в центральній частині спостерігається вільні або заповнені сульфідами порожнини [6].

Жовнові фосфорити є конкреційними утвореннями, складеними уламками зерен кварцу, глауконіту, кальциту, халцедону та інших мінералів, зцементованих мікрокристалічним або аморфним фосфатом. Залежно від кількості уламкового матеріалу та вмісту  $P_2O_5$ , серед цих фосфоритів розрізняють піскуваті (12-18%  $P_2O_5$ ), глауконітові (18-24%  $P_2O_5$ ) та глинисті (24-29%  $P_2O_5$ ). Залягають вони серед осадових порід різного віку. Іноді окремі жовна настільки щільно прилягають одне до одного, що утворюють фосфоритові плити (Синичино-Яремівське родовище на Харківщині). До цього типу деякі дослідники відносять також описані вище кулясті ("подільські") фосфорити з характерною радіально-волокнистою будовою і великим вмістом  $P_2O_5$  (36-38 %) [3].

Пластові фосфорити – це масивні мікрозернисті породи темно-сірого, бурого та чорного кольору, складені дрібними фосфатними зернами або

оолітами, зцементованими фосфатним, рідше халцедоновим або карбонатним цементом. Вміст  $P_2O_5$  у них – 26-29 % і більше (родовище хребта Кара-Тау в Казахстані) [3].

Фосфоритовий черепашник – це пісок або слабо зцементований пісковик, складений дрібними уламками фосфатизованих черепашок. Вміст  $P_2O_5$  у руді не перевищує 5-12 % (родовища Ленінградської області в Росії, родовища Естонії) [3].

Найбільші родовища світу складені пластовими фосфоритами, значно менше поширені жовнові й інші фосфорити. У результаті збагачення фосфоритів одержують концентрат, придатний для хімічної переробки на суперфосфат або помелу на фосфоритове борошно.

Головні генетичні типи родовищ фосфоритів [3]:

- осадові морські біохімічні, вони виникають при накопиченні багатих на фосфор черепашок, випадінні фосфору з розчинів, формуванню конкрецій на дні океанів;
- осадові морські механічні, які утворюються в процесі морської абразії раніше утворених фосфоритів різних генетичних типів; приурочені до теригенних глауконітових формацій, представлені галечниками і конгломератовими типами руд;
- осадові континентальні біохімічні — збагачені фосфатами скупчення екскрементів морських птахів, летючих мишей, деяких тварин (гуано), вони утворюються переважно на морських берегах і океанічних островах, які густо заселені птахами;
- кір вивітрювання, що виникають у процесі вивітрювання фосфатовмісних осадових і магматичних порід, поділяються на залишкові та залишково-інфільтраційні;
- метаморфізовані.

Генезис фосфатних порід недостатньо вивчений. Структура, текстура і форми залягання порід дають підставу вважати фосфорити полігенетичними, але майже завжди зв'язаними с життєдіяльністю фауни і флори [17].

Фосфорити утворюються переважно біогенно-хемогенним шляхом, при цьому основним джерелом фосфору є залишки організмів. Перші чотири типи родовищ фосфоритів утворюються на дні морів, на глибинах 30-300 м. Вважають, що їх формування пов'язано з тим, що глибинні води, збагачені  $P_2O_5$  і  $CO_2$ , піднімаються течіями в бік берега і в зоні шельфу стають перенасиченими. В результаті в осад випадають фосфорнокислі солі і вуглекислота. В зоні вузького лінійного шельфу формуються пластові поклади фосфоритів, а в межах широкого і похилого платформного шельфу – конкреційні [2].

Континентальні родовища фосфоритів утворюються тоді, коли карбонатні породи, що містять у розсіяному стані незначну кількість фосфату, зазнають впливу поверхневих вод, насичених  $CO_2$ . В результаті вапно вилуговується, а фосфат концентрується, утворюючи залишкові родовища фосфоритів.

## **1.2 Фосфоритові родовища на території України**

Поклади зернистих фосфоритів були відкриті в Україні у 1983-1995 рр. у відкладах нижнього кембрію, сеноману, палеогену в межах Волино-Подільської плити, Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ), у Донбасі, Криму, Закарпатті. Фосфоритові родовища пов'язані переважно з глауконіт-теригенною платформною формацією, вік якої крейда-палеоген. Виділені наступні типи фосфоритів: жовнові, зернисті, змішані, мікрозернисті, фосфоритовміщуючі бурі залізняка. Найбільшими з них є Ратненське та Осиківське родовища. На більшості з виявлених перспективних ділянок із вмістом  $P_2O_5$  5-8 % і потужністю фосфоритового пласта 3-6 м руди залягають на глибині 60-250 м і більше. Для їх розробки необхідне застосування

свердловинних методів гідровидобування, які знаходяться на стадії вивчення [3].

Жовнові фосфорити представлені Ратненським родовищем на Волині, де у відкладах київської світи палеогену виявлено 14 покладів перевідкладених фосфоритів із запасами за категоріями  $C_1+C_2$  9,49 млн. т  $P_2O_5$ . Іншими перспективними об'єктами є прояви Волині, Кролевецька і Середино-Будська площі в Сумській області, перспективні формації в Канівській Наддніпрянщині, Середній Наддністрянщині та інші. Ресурси  $P_2O_5$  фосфоритів згаданих площ перевищують 100 млн. т. Перспективними є також північний і південний борти ДДЗ, складені відкладами канівської і київської світ [2].

Зернисті фосфорити розвинені в межах Дніпровсько-Донецького фосфоритоносного басейну, де відоме Осиківське родовище, приурочене до піщаних мергелів і кварц-глауконітових пісковиків кампану з фосфатними зернами, мікрожовнами і жовнами ( $P_2O_5$  2-13%). В основі розрізу серії залягає зернисто-жовновий або галечниковий горизонт потужністю до 0,5 м з вмістом  $P_2O_5$  до 10 %.

У південно-західному облямуванні Українського щита фосфоритоносними є відклади сеноману, у Західній Україні глауконіт-кварцові і глауконіт-кварц-карбонатні пісковики нижнього сеноману. Кілька перспективних площ виділено на Лівобережжі Дністра з прогнозними ресурсами  $P_2O_5$  122 млн т.

Змішаний тип фосфоритів розповсюджений на лівобережжі Дністра, у відкладах альбу-сеноману, представлений жовнами фосфоритів кластогенними, органогенними, черепашиковими, губковими, фітоморфними, а в аргілітах лінзами і прошарками тонкодисперсного фосфориту ( $P_2O_5$  10-15 %). Типовими родовищами цього типу є Жванське та Ольховецьке. Підвищені концентрації фосфору в палеогенових, крейдових та вендських відкладах Волино-Поділля відомі з давніх часів. Продуктивні

горизонти мають, як правило, широке площинне поширення, горизонтальне залягання, невеликі потужності й продуктивність до перших сотень, рідше тисяч кілограмів на кубічний метр [2].

Жванське родовище представлено слабозцементованим фосфоритоносним кварц-глауконітовим пісковиком, рідше галечником потужністю 0,3-4,8 м, з вмістом  $P_2O_5$  3-10 %. Продуктивними є відклади сеноманського ярусу, серед яких розрізняють два прошарки: нижній і верхній. Нижній складений темно-зеленими глауконітовими пісковиками з кулястими добре обкатаними "подільськими" фосфоритами, їх дрібними уламками та фосфоритизованими губками. Верхній складений також глауконітовим пісковиком з нагромадженням жовен первинних піскуватих фосфоритів [2].

У відкладах нижнього карбону Донбасу присутні шари мікрозернистих фосфоритів сумарною потужністю 6-8 м, вмістом  $P_2O_5$  6,0-10,2 %. Вони неоднорідні, складаються з декількох пачок власне фосфатноносних порід (0,1-0,6 м) і прошарків карбонатно-кременистих і глинисто-кременистих сланців (0,05-0,2 м). Фосфатні мінерали представлені франколітом.

Відомо, що фосфорити можуть мати підвищений рівень радіоактивності. Проводилися дослідження радіогеохімічних особливостей фосфоритів різних районів України [5].

### **1.3 Використання і технологічні властивості фосфоритів**

Використовуються фосфорити переважно для виготовлення фосфатних добрив — як агрохімічна сировина.

У сучасній економіці України зростає частка і роль агропромислового комплексу, що робить актуальними роботи з розвитку та забезпечення його мінерально-сировинної бази. З огляду на збільшення попиту у розвинених країнах на екологічно чисту сільськогосподарську продукцію, з обмеженням внесення мінеральних добрив, підвищуються вимоги стандартів до якості

агрохімічної сировини, її речовинного макро- і мікрокомпонентного складу, який обумовлюють, насамперед, мінералогічні та радіохімічні властивості руд та технологічні особливості їх переробки.

В Україні створено комплекс по виробництву фосфорних та фосфоровмісних добрив потужністю 1850 тис. т добрив на рік [13]. ВО «Сумихімпром» та «Дніпровський завод мінеральних добрив» були спочатку спроектовані на використання апатитового концентрату, який надходив з підприємств колишнього Радянського Союзу. На той час комплекс був орієнтований на переробку апатитів Кольського півострова. Після 1991 р. постачання апатитів з традиційних джерел різко скоротилося, а обсяги виробництва добрив зменшилися до 200 тис. т і менше, при сучасній щорічній потребі України у фосфатній сировині 2,3–2,8 млн т (за даними Державної служби геології та надр України) [13].

Проте джерелом фосфатів можуть бути вітчизняні родовища. Але ці руди повинні бути досліджені на предмет мінерального складу та радіогеохімічних властивостей з метою розробки адекватної технології переробки [13].

Суперфосфат - універсальне фосфатне добриво, яке вноситься майже під усі сільськогосподарські культури. Основною діючою речовиною є фосфор у формі монокальцію фосфату -  $\text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2$ . Його виробництво полягає в обробці апатитового концентрату й фосфоритів сірчаною кислотою. Апатитова руда або концентрат мають вміщувати не менше 32-33 %  $\text{P}_2\text{O}_5$ , а фосфорит - не менше 23-24 %. Шкідливими домішками є оксиди й карбонати, що викликають утворення нерозчинних фосфатних сполук [3]. Промисловість випускає також інші фосфатні добрива.

У фосфоритах найменшим кондиційним вмістом  $\text{P}_2\text{O}_5$  є 4-5 %, якщо вони легко збагачуються. При виготовленні фосфоритного борошна єдина вимога до фосфоритів - достатній вміст  $\text{P}_2\text{O}_5$ , причому перевага надається глинистим різновидам, оскільки глауконітові й піщані різновиди, насичені кремнеземом, ускладнюють процес подрібнення. Вимоги промисловості до

фосфоритових руд і концентратів визначаються способом переробки на кінцеві продукти. При простому молотті фосфоритових руд на фосфоритне борошно лімітується вміст  $P_2O_5$  (для III гатунку не менше 19%, II – 22-25%, I — 25-30%) Цим вимогам відповідають вторинні та деякі різновиди жовнових фосфоритів [3].

Мінімальний вміст  $P_2O_5$  в мікрозернистих фосфоритах має бути 20-22%, у жовнових – 5-8%. Шкідливими компонентами жовнових руд є оксиди й сульфід заліза, MgO і карбонати.

Первинне збагачення жовнових фосфоритів проводиться шляхом рудорозбирання, грохочення і промивки, якими відокремлюють пухку породу та дрібну фракцію, бідну на фосфорит. У концентраті залишаються жовна розміром 0,25-1,0 мм з високим вмістом  $P_2O_5$  (15-25%). Для того, щоб досягти більш високої концентрації фосфату і зниження вмісту шкідливих домішок, проводять вторинне збагачення методами флотації, електросепарації, флотогравітації [1].

Збагачуваність фосфоритових руд визначають наступні мінералого-петрографічні чинники: а) текстурні характеристики руд; б) структури руд; в) мінералогічна природа фосфату; г) склад і властивості нефосфатних мінералів [1].

З технологічної точки зору інтерес представляють неоднорідні (контрастні) текстури, а саме, мезо- і макротекстури. З ними пов'язана можливість так званого текстурного розкриття, при якому руда вже на стадії грубого або середнього дроблення складена шматками, що істотно розрізняються за складом і властивостями.

Можливі два варіанти: 1) фосфат складає цемент породи. Великі, зцементовані її шматки збагачені  $P_2O_5$ , дрібні класи представлені зернами мінералів і порожньої породи (це характерно для жовнових руд); 2) фосфат присутній у вигляді окремих, порівняно дрібних зерен, а великі шматки породи складаються з цих же зерен, скріплених нефосфатним (найчастіше



карбонатним) цементом, і тому збіднені  $P_2O_5$  і містять більше шкідливих домішок.

У сучасній фосфатній промисловості наявність нерівномірної цементації є передумовою для застосування грохочення і промивання руд. З літологічно неоднорідних руд найбільші (декілька дециметрів) шматки порожньої породи відділяються рудорозбиранням. Дрібніші шматки і частки руди в цьому випадку і при розкритті шаруватої текстури можуть сепаруватися гравітацією у важких середовищах.

З чотирьох перерахованих чинників збагачуваності структура руд є у більшості випадків найважливішим. Саме структурою визначається необхідна міра подрібнення руди і характер часток в подрібненій руді; чим більш контрастні по складу (а отже, і за властивостями) ці частинки, тим сприятливіша структура для збагачення.

Усю петрографічну різноманітність структур фосфоритів можна звести до чотирьох основних груп:

- 1) зернисті структури, в яких фосфатний мінерал відособлений у вигляді зерен, оолітів і інших утворень, фосфатних раковин, кісткових залишків і тому подібне;
- 2) ідіоморфні структури, властивої метаморфізованим рудам;
- 3) цементні структури, в якій фосфат представлений суцільною аморфною або мікрокристалічною масою, що скріплює теригенні і аутигенні зерна інших мінералів (жовнові фосфорити);
- 4) структури тонкого проростання крипто- або мікрокристалічного фосфату з карбонатом.

При подрібненні руд з цементними структурами неминуче утворюються численні зростки: кварцові і глауконітові зерна з примазками фосфатного цементу, частки фосфату з вростками інших мінералів. У ідіоморфних структурах, навіть з міцною цементацією, апатит розкривається краще завдяки рівній лінії контакту між мінеральними компонентами [1].

Межі подрібнення фосфатної руди встановлюють відповідно з розмірами вкраплень нефосфатних мінералів. Із зростками, що залишаються при такій крупності, доводиться миритися, бо отримання тоншого помелу пов'язане зі значними енергетичними витратами і утворенням великої кількості шламів, що ускладнюють збагачення [1].

#### **Висновки до розділу:**

Для подолання проблеми недостатнього використання фосфорних добрив в Україні необхідне залучення до їх виготовлення численних вітчизняних родовищ фосфоритів. Мінеральний склад фосфоритів, їх текстура і структура відрізняються у покладах різного генетичного типу. Для того, щоб використовувати місцеві фосфоритові руди для виготовлення добрив, необхідно вивчати їх речовинний склад і технологічні властивості, з'ясувати можливість збагачення.

Не для копіювання 103-1031

## 2 ГЕОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНУ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 2.1 Географічна характеристика району

Адміністративно район дослідження знаходиться у південно-західній частині Ізюмського району Харківської області.

На Малокамишувахському родовищі виділяються три ділянки: Західна, Центральна і Східна. Ділянка Східна розташована в 6 км на південь від с. Кам'янка Ізюмського району, ділянка Західна розташована в 1 км на схід від с. Заводи Ізюмського району, на правому схилі р. Сів. Донець, ділянка Центральна розташована між названими ділянками.

Рельєф району характеризується невеликими різницями висот. Максимальна висота на півночі області – 236 м, мінімальна – біля гирла р. Оскіл – 60 м. Більша частина області зайнята Придніпровською низовиною, де переважають ерозійно-аккумулятивні форми рельєфу, значний розвиток долин річок. На півночі і північному сході знаходяться відроги Середньоруської височини, яка розчленована балками і ярами.

Територія області розташована в межах лісостепової і степової природних зон. У північній частині переважають лісостепові височини у сполученні із луково-степовими низинами і лісостеповими розчленованими височинами. У південній частині – північно-степові низовинно-рівнинні і північно-степові рівнинно-височинні природно-територіальні комплекси.

Гідрографія в межах області налічує 156 річок довжиною більше 10 км, що відноситься до системи річок Дону і Дніпра. Найбільша річка – Сіверський Донець (приток Дону) із притоками Уди, Мож, Чепель, Берека (праві) та Великий Бурлук, Балаклея, Ізюмець, Оскіл (ліві).

### 2.2 Геологічна характеристика району

В геоструктурному відношенні район приурочений до перехідної зони від Дніпровсько-Донецької западини до Донбасу. Через площу проходять дві

північні антиклінальні зони. Одна із них включає Співаківське, Святогорсько-Сухокам'янське та Кам'янське підняття. З півдня ця зона оконтурена Комишувахсько-Лиманською синкліналлю. Друга антиклінальна зона об'єднує Тернівське, Карпівське і Червонооскільське підняття.

Малокомишувахське родовище фосфоритів приурочено до північно-східного крила Малокомишувахсько-Лиманської синклінали.

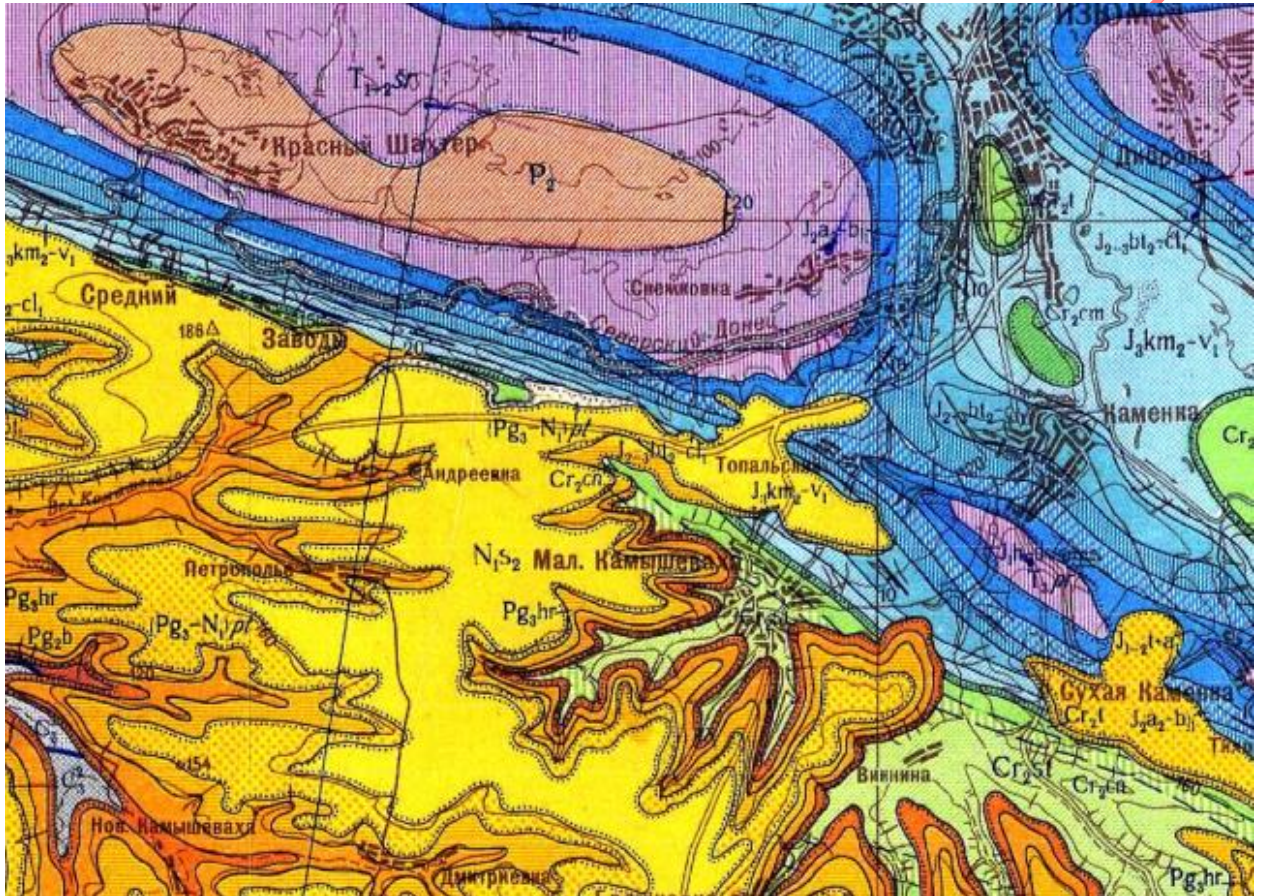


Рисунок 2.1 – Геологічна карта району досліджень [4]

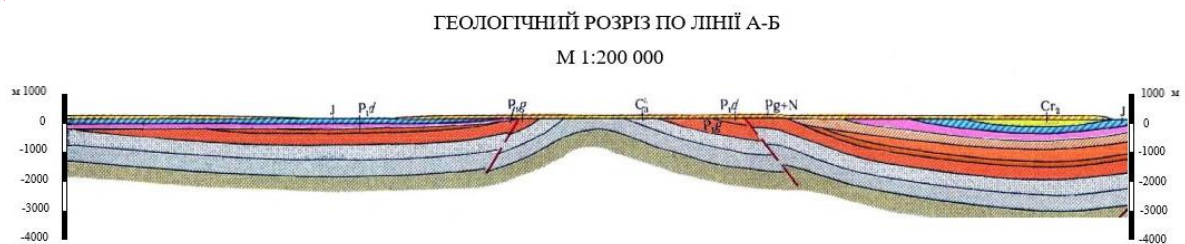


Рисунок 2.2 – Геологічний розріз району досліджень [4]

УМОВНІ ПОЗНАЧКИ  
ДО ГЕОЛОГІЧНОГО РОЗРІЗУ











	Відклади палеогенової і неогенової системи об'єднанні.
	Крейдова система. Верхній відділ. Відклади нерозчленовані.
	Юрська система. Верхній відділ.
	Тріасова система
	Пермська система. Нижній відділ. Гіпсо-доломітова свита. Глини, доломіти, вапняки, гіпси, ангідрити, пісковики.
	Свита медистих пісковиків. Глини, пісковики, ангідрити.
	Кам'яновугільна система. Свита C <sub>3</sub> <sup>1</sup> (P). Верхній відділ. Гжельський ярус. Аргіліти, пісковики, конгломерати, вапняки, вугілля
	Касимовський ярус. Свита C <sub>3</sub> <sup>2</sup> (O). Аргіліти, пісковики алевроліти, Вапняки, вугілля
	Касимовський ярус. Свита C <sub>3</sub> <sup>1</sup> (N). Пісковики, аргіліти, алевроліти, Вапняки, вугілля
	Тектонічні контакти

Рисунок 2.3 – Умовні позначки до геологічного розрізу району досліджень [4]

Загальна геологічна будова району приводиться у звітах по геологічній зйомці масштабу 1: 50 000 аркушів М-37-98-Б,Г, М-37-99-Г, а також у звіті про пошуково-оціночні роботи на фосфорити на районі дослідження [21].

В геологічній будові району беруть участь комплекс відкладів від девонських до четвертинних. Фосфорити на родовищі приурочені до сеноманського та коньякського ярусів верхньої крейди, і тому опис геологічної будови району приводиться, розпочинаючи з мезозойських відкладів.

#### Мезозойська ератема.

В межах району мезозойські відклади мають широке площинне розповсюдження на півночі та північному сході. Вони представлені тріасовою, юрською та крейдовою системами.

## Тріасова система (Т)

Тріасові відклади спостерігаються в районі Кам'янського та Співаківського підняття. Представлені нижнім, середнім і верхнім відділами.

### Нижній відділ ( $T_1$ )

Нижній відділ тріасу представлений відкладами дронівської світи.

Дронівська світа  $T_{1dr}$ . Відклади дронівської світи на докайнозойській поверхні відслонюються лише в межах крил антиклінальних структур. Поширені практично повсюдно і в структурному плані виповнюють палеозойські синклінальні прогини.

Відклади дронівської світи із значним стратиграфічним та кутовим неузгодженням залягають на відкладах карбону та пермі, а в депресійних воронках-на брекчіях соляних штоків, і в свою чергу трансгресивно перекриваються відкладами сребрянської світи.

Світа складена теригенними червоноколірними та зеленувато-сірими пісковиками, що домінують в розрізі, алевролітами та аргілітами з рідкими прошарками гравелітів та конгломератів. За літологічними ознаками виділяється переважно аргіліто-алевролітова товща (нижня підсвіта) та більш потужна переважно піщана товща (верхня підсвіта). Потужність відкладів дронівської світи коливається від 200 до 400 м.

Нижній-середній відділ ( $T_{1-2}$ ). На площі робіт нижньо-середньотріасові відклади представлені сребрянською світою.

Сребрянська світа  $T_{1-2sr}$ . Відклади світи мають розповсюдження на півночі площі і виходять на докайнозойську поверхню на крилах та у склепінні антиклінальних структур. Вони трансгресивно з кутовим неузгодженням залягають на дронівській світі та карбоні. Розріз складено континентальними осадами. Відклади світи суттєво відрізняються за складом та виглядом від тих, що залягають нижче і вище. Світа складена зеленувато-сірими пісковиками, червоно-бурими та строкатими глинами, піщаними глинами та алевролітам.

Літологічно відклади сребрянської світи розділяються на 2 підсвіти:

- 1) Нижня об'єднує карбонатно-піщану та переважно глинисту товщі;
- 2) Верхня – глинисту, з прошарками пісків і пісковиків. Глини строкатобарвні вишнево-червоні, бузкові, малинові, фіолетові. Характерною ознакою підсвіти є переважно лілово-вишневе забарвлення глин, що складають значну частину розрізу.

Загальна потужність світи складає 175-250 м.

Верхній відділ (Т<sub>3</sub>)

Протопівська світа (Т<sub>3</sub>pr). В межах району верхній відділ тріасу представлений континентальними утвореннями - сірими та зеленувато-сірими пісками і пісковиками, строкатими глинами та алевролітами.

Відклади протопівської світи розповсюджені на півночі та сході площі робіт у синклінальних структурах, виходять на докайнозойську поверхню у вигляді вузьких смуг (облямівок) вздовж антиклінальних піднять і поступово виклинюються з півночі на південь.

Нижня частина світи потужністю 70,0 м складена червоно-бурими глинами, рідко зелених і фіолетових та пісковиками сірими і зелено-сірими. Верхній шар світи представлений сірими глинами та алевролітами, збагаченими рослинним детритом. Потужність протопівської світи коливається від 0 до 178 м, і в середньому складає 70-90 м.

Загальна потужність тріасових відкладів коливається від 240 до 600 м.

Юрська система (J)

Вона представлена в районі трьома відділами: нижнім, середнім і верхнім.

В структурному плані відклади юрської системи приналежні до синклінальних структур, а саме - Комишувахсько-Лиманській. Також юрські відклади поширені у вигляді облямівок по південній периферії Співаківського підняття.

### Нижній відділ ( $J_1$ )

Кожулинська світа ( $J_{1k\check{z}}$ ) представлена глинами сірими, світло-сірими та зелено-сірими із прошарками вапняків, пісковиків та пісків. Потужність світи 26-35 м.

### Середній відділ ( $J_2$ )

Черкаська світа ( $J_{2cr}$ ) представлена глинами із прошарками пісків, пісковиків та вапняків. Потужність світи досягає 50 м.

Кам'янська світа ( $J_{2km}$ ) представлена глинами із прошарками пісків і пісковиків, бурого вугілля та сидеритів. Потужність світи складає 40-45 м.

### Середній – верхній відділи нерозчленовані ( $J_{2-3}$ ).

До нерозчленованих відкладів середньої та верхньої юри відноситься Ізюмська світа.

Ізюмська світа ( $J_{2-3iz}$ ) представлена вапняками з прошарками строкатобарвних глин та пісковиків. Максимальна потужність світи 70 м.

### Верхній відділ ( $J_3$ )

Донецька світа ( $J_{3dn}$ ) представлена строкатими глинами та пісковиками. Потужність світи 60-80 м.

### Крейдова система (K)

В границях району відклади крейдової системи структурно приурочені до північного крила Малокомишувахської-Лиманської синкліналі. Крейдові породи закартовані в центральній, південно-східній та північно-західній частинах дослідженої площі, де розділяються на нижній та верхній відділи.

### Нижній відділ ( $K_1$ )

Нижньокрейдові відклади спостерігаються у відслоненнях вздовж північного крила Малокомишувахської мульди від с. Гаражівки до хут. Заводи, а також біля с. Мала Комишуваха. Представлені різнозернистими, каоліністими, світло-сірими (до білих) пісковиками і пісками. Спостерігаються невеликі прошарки гравію і гальки. В окремих розрізах спостерігаються прошарки глин і алевроїтів. Потужність нижньокрейдових відкладів змінюється від 6 до 20 м в районі с. Мала Комишуваха.



### Верхній відділ ( $K_2$ )

Відклади верхньої крейди на площі представлені крейдово-мергельною товщею з глауконітовими пісками в підшві розрізу. Максимальна потужність відкладів в Комишувахсько-Ліманській синкліналі 420 м, а в Північній – 600 м.

### Сеноманський ярус ( $K_2s$ )

Відклади ярусу залягають в підшві мергельно-крейдової товщі. Зі стратиграфічною і кутовою незгодою залягають на породах нижньої крейди, середньої і верхньої юри. Вони представлені спонголітовими пісковиками та глауконіто-кварцовими пісками та пісковиками. Піски мають зеленувато-сірий, а іноді інтенсивно зелений колір, тонко- і дрібнозернисті з рідкою кварцовою і кременистою галькою, слабо глинисті. Потужність пісків складає 2-4 м.

В пісках зустрічаються фосфоритові жовна неправильної і округлої форми розміром від 0,3 до 5-8 см. Місцями вони зцементовані кременисто-фосфатним цементом у фосфоритну плиту. На Малокамишувахському родовищі шар фосфоритів має потужність 0,3-1,6 м. Вміст  $P_2O_5$  в фосфоритових жовнах коливається від 4,5 до 19 %. Фосфоритовий шар падає на південний захід під кутом  $9-11^{\circ}$  східній ділянці і  $16-18^{\circ}$  на Західній (рис. 2.4).

Спонголітові пісковики складають основну частину сеноманського ярусу і досягають потужності 5-10 м. Пісковики від світло-сірих до темно-сірих, мікрозернисті до зливних

Потужність сеноманських відкладів змінюється по площі від 2 до 23 м.

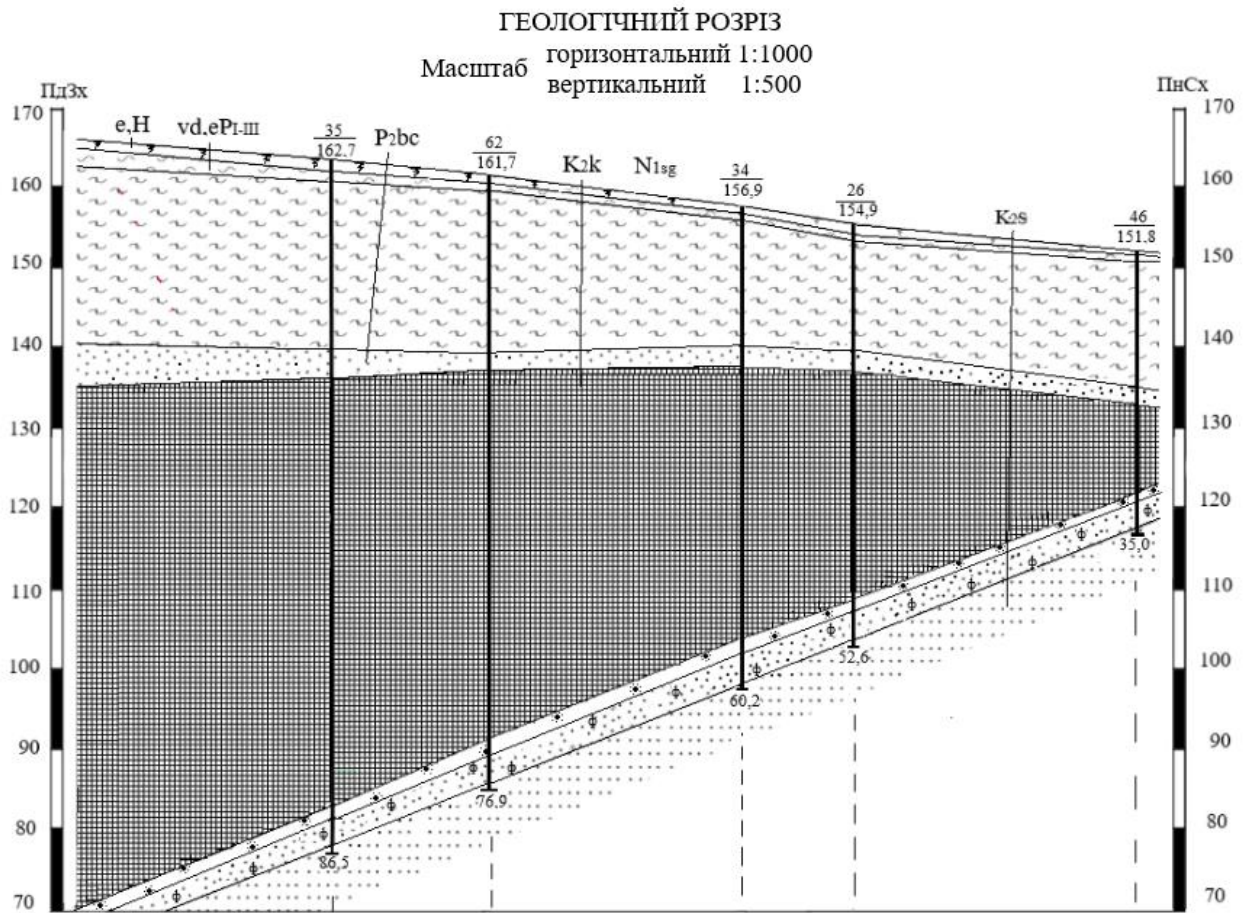


Рисунок 2.4 – Геологічний розріз ділянки досліджень [1]

УМОВНІ ПОЗНАЧКИ  
 ДО ГЕОЛОГІЧНОГО РОЗРІЗУ

e, H		Грунтово-рослинний шар	vd, eP <sub>1</sub> , ш		Глина
P <sub>2bc</sub>		Пісок	N <sub>1sg</sub>		Глина строкага
K <sub>2k</sub>		Крейда	N <sub>2sg</sub>		Глина мергелиста
K <sub>2s</sub>		Пісковик	K <sub>2s</sub>		Фосфошар
34	номер всердловини		K <sub>2s</sub>		Пісковик з фосфоритами
156,9	абсолютні відмітки				

Рисунок 2.5 – Умовні позначки до розрізу ділянки досліджень [1]

### Туронський ярус (K<sub>2t</sub>)

Відклади туронського ярусу розпочинають розріз верхньокрейдової товщі. Поширені вони в Північній і Комишувахсько-Ліманській синкліналі.

В нижній частині розрізу відмічаються розсіяні і гніздоподібні скупчення зерен глауконіту. Крейда, як правило, ближче до поверхні, дуже

тріщинувата. За результатами хімічних аналізів вміст  $\text{CaCO}_3$  в крейді складає 88-97%. Характерною особливістю цих відкладів є численні включення уламків і валунів кременю, особливо у верхній частині розрізу. Потужність відкладів туронського ярусу змінюється від 2-3 до 50 м.

#### Коньякський ярус ( $K_2k$ )

Відклади представлені білою писальною крейдою, дуже щільною, з рідкими прошарками крейдоподібних мергелів. Вміст  $\text{CaCO}_3$  в крейді складає 93-98 %, нерозчинний залишок 0,3-0,6 %. Потужність відкладів ярусу складає 90-130 м.

#### Сантонський ярус ( $K_2st$ )

За літологічними особливостями він розділяється на нижній і верхній під'яруси. Відклади нижнього під'ярусу представлені крейдоподібним мергелем з прошарками крейди. Потужність відкладів 60-100 м.

Відклади верхньосантонського під'ярусу представлені глинистим мергелем з прошарками крейдоподібних мергелів. Місцями верхня частина розрізу складена мергелистою крейдою, яка використовується для виробництва вапна. Потужність відкладів змінюється від 100 до 200 м.

#### Кампанський ярус ( $K_2km$ )

Складений крейдоподібним мергелем та крейдою білою писальною. Відслонення його широко розвинуті по правому схилу р. Сів. Донець. Потужність відкладів ярусу від 130 до 150 м.

#### Кайнозойська ератема

У складі ератеми виділяються відклади палеогенової, неогенової і четвертинної систем, що трансгресивно і компенсаційно, з різко вираженою кутовою і стратиграфічною неузгодженістю залягають на утвореннях мезозою. Відклади мають повсюдне поширення, крім річкових долин високого порядку. Зі сходу на захід і південний захід весь комплекс осадових утворень занурюється на глибину, в результаті чого на півдні і заході відклади кайнозою мають найбільш повні розрізи і досягають максимальних потужностей, в той час як в східному напрямку деякі світи розмиті повністю.

## Палеогенова система (P)

Палеогенова система представлена морськими відкладами костянецької та київської світ еоцену, межигірської та берекської світ олігоцену потужністю від 10 до 70-80 м.

Еоцен (P<sub>2</sub>). Середній еоцен. Бучацька серія

Бучацька серія представлена костянецькою світою.

Костянецька свита (P<sub>2</sub>ks) залягає на мезозойських відкладах із стратиграфічною перервою і розповсюджена в південно-західній частині району робіт. В підшві світи залягають дрібнозернисті піски з включенням кремнистої гальки. Вище залягають ясно-сірі і жовті дрібнозернисті піски, з добре обкатаними зернами, сипучі. Потужність пісків світи коливається від 7 до 30 м.

Київська свита (P<sub>2</sub>kv). Відклади київської світи мають більш широке поширення, ніж відклади описаної раніше світи. Виходи порід київської світи спостерігаються біля сс. Бражківка і Вірнопілля. Представлені вони мергелистими глинами, алевритами світло-сірими з зеленим відтінком, щільними, трепелоподібними. Потужність алевритів 15-29 м.

Нижній олігоцен-верхній еоцен (P<sub>2-3</sub>). Харківська серія.

Нижня частина серії належить до обухівської (P<sub>2ob</sub>) світи. Вище лежать відклади межигірської (P<sub>3mz</sub>) світи.

Межигірська свита (P<sub>3mz</sub>). Відклади світи просліджуються в південно-східній частині району. Представлені глауконітово-кварцовими пісками, алевролітами і глинами. Потужність світи сягає 34 м.

Олігоцен. Верхній олігоцен. Представлений відкладами берецької (P<sub>3br</sub>) та новопетрівської світ. Мають широке розповсюдження в південно-західній частині району робіт.

Берецька свита складається з нижньої (змійвської) та верхньої (сиваської) підсвіт. Нижня підсвіта представлена глинами, іноді вуглистими, з прошарками пісків і бурого вугілля. Потужність підсвіти до 5 м. Верхня підсвіта представлена пісками білими кварцовими потужністю до 12 м.

## Неогенова система (N)

Відклади неогену поширені повсюдно, складаючи ділянки вододілів та їх схили. Їх віднесено до міоценового і пліоценового відділів.

Міоцен( $N_1$ ). Нижній міоцен. Полтавська серія.

Складається з порід новопетрівської світи, яка поширена на вододілах в західній частині району.

Новопетрівська світа ( $N_{1np}$ ). Відклади світи розповсюджені в південно-західній частині району. Представлені вони пісками білими, кварцовими, каоліністими, у підшві алевролітами, з прошарками бурого вугілля. Потужність відкладів до 20 м.

Товща строкатих глин ( $N_{1sg}$ ) представлена глинами зеленувато-сірими, червоними, в підшві піщанистими з друзами гіпсу. Потужність світи коливається в межах від перших метрів до 5-10 м.

Верхній міоцен.

Товща червоно-бурих глин ( $N_{2cb}$ ) представлена глинами червоно-бурими. Товща червоно-бурих глин має повсюдне поширення в межах вододільних ділянок рік. Потужність світи від перших метрів до 15-20 м.

Четвертинна система (Q)

Четвертинні відклади в районі представлені алювіальними, делювіальними та еолово-делювіальними генетичними типами.

В складі четвертинної системи присутні нижньонеоплейстоценові та верхньонеоплейстоценові відклади. Нижній неоплейстоцен представлений делювіальними та еолово-делювіальними коричневими і бурими суглинками.

Верхній неоплейстоцен представлений делювіальними та елювіально-делювіальними жовто-бурими суглинками і алювіальними пісками першої і другої заплавної терас р. Сів. Донець. Потужність відкладів від 1 до 10-15 м.

## Висновки до розділу:

Район досліджень знаходиться у перехідній зоні між Дніпровсько-Донецькою западиною і Донбасом. В геологічній будові району беруть

участь комплекси відкладів від девонських до четвертинних. Фосфорити Малокамишувахського родовища приурочені до відкладів сеноманського ярусу верхньої крейди. Вони зустрічаються в пісках у вигляді жовен неправильної і округлої форми розміром від 0,3 до 5,8 см, які місцями зцементовані з утворенням фосфоритної плити.

Не для копіювання 103-18СК-1

### 3 МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Згідно з [14], до основних методів дослідження фосфатних гірських порід належать: вивчення у шліфах, вивчення хімічного складу, рентгеноструктурний аналіз та деякі інші.

#### 3.1 Вивчення гірських порід у шліфах за допомогою поляризаційного мікроскопа

Даний метод дослідження гірських порід є найбільш поширеним та ефективним [9]. Дослідження проводять за допомогою поляризаційного мікроскопа, у шліфах — тонких зрізах гірської породи. В першу чергу при дослідженні описуються кристалооптичні характеристики мінералів, які найбільше розповсюджені у шліфі, потім описуються другорядні мінерали.

Дослідження гірських порід за допомогою поляризаційного мікроскопа проводиться двома способами:

1) дослідження мінералів у шліфі без аналізатора. Даний спосіб дослідження дозволяє визначати: розмір та форму зерен, характер шагреневої поверхні, знаку рельєфу, показника заломлення, забарвлення мінералу та наявність плеохроїзму, наявність псевдоабсорбції, наявність спайності, ступінь її досконалості;

2) дослідження гірських порід при введеному аналізаторі. Цей спосіб дозволяє визначати: силу подвійного заломлення світла у мінералах, характер їх згасання, кут згасання, знак подовження, схему плеохроїзму, а також коноскопічні дослідження з визначенням оптичної осності мінералу, оптичного знаку мінералу та кута оптичних осей двовісних мінералів (2V).

#### 3.2 Рентгенофлуоресцентний аналіз (РФА)

Класичний, так званий силікатний хімічний аналіз, виконують у наш час з використанням фізичних методів, з яких найбільш перспективний

рентгенофлуоресцентний. Цей метод оснований на отриманні в якості аналітичного сигналу вторинного випромінення (флуоресценції) вільних атомів елементів, при поглинанні ними квантів електромагнітних коливань більш високих енергій.

Для того, щоб всі присутні в зразку елементи випускали характерні рентгенівські промені, використовують неперервний спектр, який генерується рентгенівською трубкою прибору (біле випромінення). Джерелом іонізуючого випромінення слугує рентгенівська трубка, а для утворення вузького пучка рентгенівських променів застосовується коліimator. Він складається із ряду близько розташованих металевих пластин, котрі і беруть участь в формуванні вузького пучка [8].

Рентгенівські промені, які поступають від зразка, порівнюють с рентгенівськими променями еталонів в тих же експериментальних умовах. Для отримання точних результатів робляться поправки на атомний номер, поглинання і флуоресценцію. Число хімічних елементів, які аналізуються за допомогою РФА, досить велике.

Метод РФА застосовують, головним чином, для валового аналізу гірських порід і руд. Кількісний РФА проводять с використанням методу градуированого графіка. Однак є складнощі с підготовленням необхідного зразка порівняння (через складнощі його складу і структури). Тому більш перспективним вважається спосіб РФА без еталонів, який заснований на визначенні елементів з використанням теоретично розрахованих фундаментальних фізичних параметрів. Успіх аналізу забезпечується правильними умовами проведення аналізу [8].

До переваг даного методу відносять простоту підготовки проб. Вони можуть бути у виді спресованих кульок або таблеток, отриманих із тонко подрібненої речовини шляхом сплавлення її з боратом літію або іншим подібним з'єднанням. Саме простота підготовки зразків, а також сучасний рівень проведення аналізу сприяють широкому застосуванню цього методу в вивченні складу руд.



Знання повного хімічного складу є основою при виконанні прикладних геологічних досліджень. На основі одержаних результатів аналізу приймаються рішення про вибір способів вилучення корисних компонентів, можливості утилізації відходів гірничорудних підприємств тощо.

Рентгенофлюоресцентні аналізатори забезпечують вимір вмісту у породі усіх елементів від натрію до урану. Основна перевага хвилевих аналізаторів в порівнянні з енергодисперсійними - високе спектральне розділення і краще співвідношення сигнал / фон. Завдяки цьому досягається більш висока точність аналізу, особливо для легких елементів, покращуються характеристики чутливості, як результат швидкий і надійний якісний аналіз. [8].

### **3.3 Рентгеноструктурний аналіз (РСА)**

Аналіз кристалічної структури речовини проводять за допомогою рентгенівських променів. РСА застосовують переважно при дослідженні твердих об'єктів, що мають впорядковану будову - кристалічних речовин, оскільки вони служать дифракційними ґратками для рентгенівських променів. Цю властивість кристалічних речовин використовують при якісному і кількісному аналізах для ідентифікації речовин і визначення складу сумішей. В основі аналізу лежить явище дифракції рентгенівських променів [8].

Основне завдання РСА - визначення кристалічної структури мінералу. Для того, щоб встановити його кристалічну структуру, необхідно дати повну характеристику її елементарної комірки: визначити просторову групу симетрії, якій підпорядковано розташування атомів, іонів в елементарній комірці, її розміри (лінійні і кутові параметри), координати атомів, міжатомні відстані [8].

Рентгенографічні дослідження дозволяють детально вивчати і діагностувати мінерали: 1) визначати мінеральний вид; 2) встановлювати мінеральні різновиди; 3) виявляти структурні різновиди; 4) виявляти

структурні і типоморфні особливості; 5) оцінювати якісний і кількісний складу ізоморфних домішок.

Розроблені різні методи рентгенівського дослідження, кожен з яких дозволяє отримувати спеціалізовану інформацію. Найчастіше використовують методи роботи з порошком мінеральної речовини.

Взаємодію рентгенівських променів з кристалом можна розглядати як їх відображення серіями паралельних атомних площин і інтерференцію відбитих променів. При відображенні від атомних площин промені інтерферують і послабляють або посилюють один одного. Відбиті промені, максимальні по інтенсивності, спостерігаються під певним кутом до площин кристала, що забезпечують різницю ходу променів, відбитих від суміжних паралельних атомних площин, рівну цілому числу довжин хвиль первинного рентгенівського випромінювання. Математичне вираження цієї умови - рівняння Вульфа-Брегга:

$$2d \sin\theta = n \cdot \lambda \quad (3.1)$$

де  $\theta$  - кут Вульфа-Брега, під яким промені, відбиті атомною площиною, мають максимальну інтенсивність;  $d$  - відстань між відбиваючими атомними площинами (міжплощинні відстані);  $n$  - будь-яке ціле число;  $\lambda$  - довжина хвилі використовуваного рентгенівського випромінювання.

Формула Вульфа-Брегга дозволяє, знаючи  $\lambda$  і визначивши  $\theta$  по рентгенограмі, визначити значення міжплощинних відстаней [8].

Різновидом рентгеноструктурного аналізу є рентгенофазовий аналіз або дифрактометрія. Його головним завданням є визначення мінеральних фаз у пробах.

Прилади, на яких виконують рентгенофазовий аналіз, називаються дифрактометрами. У комплект дифрактометрів, як правило, входять: генераторний пристрій з джерелом випромінювання (рентгенівською трубкою); катод, в якості якого служить вольфрамова спіраль, що розігрівається електричним струмом; катод є джерелом електронів в рентгенівській трубці. Матеріал анода (мідь, молибден, залізо, кобальт, хром

та ін.) визначає довжину хвилі випромінювання; гоніометричний пристрій, що здійснює фокусування рентгенівського пучка на поверхню зразка і вимір кутів променя, що падає, і дифрагованого променя під час зйомки; детектор випромінювання, сполучений з реєструвальним пристроєм. Для аналізу на дифрактометрі використовується плаский зразок, спресований з дрібних часток речовини у вигляді пігулки, або порошок, нанесений на плоску поверхню підкладки.

Після включення апарату зразок і лічильник повертаються із заданими швидкостями навколо вертикальної осі гоніометра, при цьому кут падіння променів на площину зразка поступово зростає. Лічильник заміряє інтенсивність дифрагованих променів послідовно під різними кутами, що збільшуються. Коли зразок обертається, частина "відбиваючих" площин кристалів, що складають досліджувану речовину, проходить через положення, при якому виконується умова Вульфа – Брега [8].

### **3.4 Гранулометричний аналіз**

Гранулометричний аналіз – це кількісне визначення вмісту в пухкій осадовій породі гранулометричних фракцій [15].

Існує декілька методів визначення гранулометричного складу. До лабораторних методів відносять просіювання на ситах, відмулювання в проточній та стоячій воді, тощо.

Ситовий метод є основним для визначення гранулометричного складу піщаних ґрунтів [11]. Цей метод дозволяє визначати вміст фракцій діаметром  $> 0,1$  мм, не вимагає застосування складної апаратури, простий для використання й дає досить точні результати. Метод може бути використаний для аналізу чистих пісків, а також пісків з домішкою гравію й гальки (гравелистих пісків) [11].

Лабораторні дослідження гранулометричного (зернового) та мікроагрегатного складу ґрунтів виконують відповідно до методики, наведеної в ДСТУ Б В.2.1-19:2009. Обладнання включає: технічні ваги з

точністю зважування до 0,01 г (згідно ГОСТ 24104-88); порцелянову ступку й товкачик із гумовим наконечником (згідно ГОСТ 9147-80); пензлик для змітання часток із сит; ґрунтовий ніж із прямим лезом; аркуш білого щільного паперу розміром 25×25 см; сушильну шафу.

Перед початком виконання роботи зразок доводять до сухого стану. Грудки розтирають гумовим товкачиком у порцеляновій ступці. Середню пробу для аналізу відбирають методом квартування.

Для цього матеріал ретельно перемішують, потім шпателем розподіляють по аркушу щільного паперу тонким рівним шаром товщиною у кілька міліметрів та двома взаємно перпендикулярними лініями розділяють на 4 рівні частини (квадрати) [11].

Два протилежних (за діагоналлю) квадрати залишають як скорочену пробу, а два інших видаляють з аркуша. Кожний із квадратів, що залишилися, двома взаємно перпендикулярними лініями розділяють на 4 рівні частини. Залишають по 2 протилежних квадрати, а 2 інших видаляють.

Такий розподіл проби (квартування) продовжують доти, поки на аркуші паперу не залишиться проба необхідної ваги.

Вага середньої проби повинна становити: для ґрунтів, що не містять часток розміром більше, ніж 2 мм - 100 г; для ґрунтів, що містять до 10% (за вагою) часток розміром більше ніж 2 мм - не менше ніж 500 г; для ґрунтів, що містять від 10% до 30% часток розміром більше ніж 2 мм - 1000 г; для ґрунтів, що містять понад 30% часток розміром більше ніж 2 мм - не менше ніж 200 г.

2) Для розподілу проби на фракції ситовим методом без промивання водою застосовують сита з розміром отворів: 10; 5; 2; 1; 0,5 мм; із промиванням водою - сита з розміром отворів: 10; 5; 2; 1; 0,5; 0,25; 0,1 мм.

Поділ ґрунту на фракції без промивання водою:

1) середню пробу ґрунту відбирають у повітряно-сухому стані методом квартування і зважують на технічних вагах з точністю до 0,01 г;

2) сита монтують у стовпчик, розміщуючи їх від піддона в порядку збільшення розміру отворів. Пробу ґрунту висипають у верхнє сито й закривають кришкою;

3) просіювання здійснюють ручним способом за допомогою легких бічних ударів не менше, ніж 15 хвилин, а механізованим способом не менше, ніж 10 хвилин. При просіюванні проби вагою більше ніж 1000 г, пробу висипають у верхнє сито за два прийоми;

4) фракції, що затрималися на ситах, висипають, починаючи з верхнього сита, у ступку та додатково розтирають товкачиком із гумовим наконечником, після чого знову просіюють на цих же ситах;

5) повноту просівання фракцій перевіряють струшуванням кожного сита над аркушем паперу. Якщо при цьому на аркуш випадають частки, то їх висипають на наступнє сито; просіювання продовжують доти, поки на папір перестануть випадати частки;

6) фракції, що затрималися після просівання на кожному ситі та які пройшли у піддон, переносять у заздалегідь зважені порцелянові чашечки й зважують з точністю до 0,1 г;

8) складають вагу всіх фракцій проби.

Якщо отримана сума ваги всіх фракцій ґрунту перевищує більше, ніж на 1% вагу взятої для аналізу проби, то аналіз слід повторити.

Обробка результатів випробування.

1) Вміст кожної фракції  $A$  у відсотках обчислюють за формулою:

$$A = \frac{g_i}{g} \times 100, \quad (3.2)$$

де  $g_i$  – вага даної фракції, г;  $g$  – вага середньої проби породи, взятої для аналізу, г.

2) Результати аналізу реєструють у журналі, де вказують відсотковий вміст у гірській породі різних фракцій.

При вивченні технологічних властивостей руд, наприклад, їх збагачуваності, гранулометричний аналіз суміщають з вивченням мінерального складу фракцій за допомогою бінокулярного мікроскопа.

Метод полягає у визначенні кількісного вмісту корисного мінералу у всіх виділених фракціях. Кількісний вміст мінералу виражається в об'ємних відсотках, а кількість кожної фракції - у вагових відсотках. Це дозволяє визначити вміст мінералу по відношенню до всієї досліджуваної пробі в об'ємно-вагових відсотках.

Для підрахунку процентного вмісту мінералу фракцію висипають на предметне скло бінокулярного мікроскопа, ретельно перемішують і за допомогою леза розподіляють у вигляді доріжки або декількох паралельних доріжок в поле зору мікроскопа. Доріжки повинні бути вузькі, що полегшує діагностику мінералів і підрахунок їх зерен у фракціях. З зернами мінералів працюють за допомогою спеціальної голки (шила) [11].

Під мікроскопом також можна побачити розкриття руди при подрібненні: чи призводить подрібнення до відділення корисного мінералу від інших мінералів.

#### **Висновки до розділу:**

З метою вивчення речовинного складу і технологічні властивості фосфоритів Малокомишувахського родовища необхідно застосувати методи, які дозволяють вивчити мінеральний і хімічний склад корисної копалини, а також можливість її збагачення. Для виконання цих завдань підходять наступні лабораторні методи: рентгенофлуоресцентний аналіз – для вивчення хімічного складу речовин, рентгеноструктурний аналіз і оптична мікроскопія – для діагностики мінералів, гранулометричний і мінералогічний аналіз – для вивчення збагачуваності фосфоритів.

## 4 ХАРАКТЕРИСТИКА РЕЧОВИННОГО СКЛАДУ І ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ФОСФОРИТІВ

Для вивчення речовинного складу і технологічних властивостей фосфоритів були застосовані гранулометричний, мінералогічний, хімічний, рентгенофазовий аналізи, а також оптична мікроскопія (вивчення у шліфах). Вивчення речовинного складу фосфоритів проводилося одночасно з вивченням їх технологічних властивостей, тому що необхідно було визначити мінеральний склад уламків різних класів крупності після подрібнення руди. Потім були розроблені схеми обробки проб та збагачування фосфоритів.

### 4.1 Вивчення речовинного складу і технологічних властивостей фосфоритів

Фосфорити Малокамишувахського родовища являють собою жовна, складені уламками зерен кварцу, іноді глауконіту та інших мінералів, зцементовані мікрокристалічним або аморфним фосфатом. У свою чергу, жовна часто зцементовані з утворенням фосфоритної плити. Вміст  $P_2O_5$  в фосфоритових жовнах коливається від 3,5 до 19 %. Як корисна копалина розглядається уся фосфоритова плита, тому необхідно вивчити гранулометричний склад фосфоритової руди та можливість відділення фосфатних мінералів від нерудних компонентів руди.

На двох ділянках родовища були відібрані технологічні проби. Вони були зважені та розділені за класами крупності: +20 мм; -20 +10 мм; -10 +5 мм, -5 +2 мм та -2 мм. З кожного класу після перемішування були відібрані проби для мінералогічного дослідження та визначення масової частки  $P_2O_5$ . У таблиці 4.1 показаний вихідний матеріал проб з двох ділянок.

Клас +20 мм обох проб є найбільш важливим, оскільки з ним пов'язано 84,3%  $P_2O_5$  у пробі 1 і 38,2% у пробі 2.

Таблиця 4.1 – Гранулометричний склад та розподіл  $P_2O_5$  за класами крупності проб

Клас крупності, мм	Проба 1			Проба 2		
	вихід, %	мас. частка $P_2O_5$	розподіл $P_2O_5$ , %	вихід, %	мас. частка $P_2O_5$	розподіл $P_2O_5$ , %
1	2	3	4	5	6	7
+20	66,9	13,60	84,3	34,6	3,87	38,2
-20 +10	5,6	12,49	6,5	11,7	5,67	18,9
-10 +5	2,8	7,75	2,0	9,3	4,46	11,8
-5 +2	4,3	4,10	1,6	9,0	3,96	10,2
Разом +2	79,6	12,80	94,4	64,6	4,3	79,1
- 2 :						
-2 + 1	0,3	22,10	0,6	1,1	12,0	3,7
-1 + 0,5	0,5	17,60	1,0	1,3	8,9	3,3
-0,5 +0,315	} 1,2	7,80	0,9	2,2	2,82	1,8
-0,315 +0,25				2,3	1,39	0,9
-0,25 + 0,16	1,0	5,80	0,5	4,1	2,8	3,3
-0,16 + 0,1	1,1	3,10	0,3	3,0	4,4	3,7
-0,1+ 0,071	5,8	1,00	0,5	16,5	0,5	2,4
-0,071+ 0,05	2,9	0,50	0,1	2,6	0,53	0,4
Разом -2 + 0,05	12,8	3,26	3,9	33,1	2,07	19,5
-0,05	7,6	2,37	1,7	2,3	2,1	1,4
Усього вихідна проба, баланс	100	10,8	100	100	3,51	100

Ділянка Західна (проба 1).

У класі +20 мм вихідної проби 1 знаходяться жовновий та пластовий фосфорит. Жовна фосфориту виглядають як округлі мінеральні агрегати сірого, ясно-сірого кольору. Поверхня жовен вкрита дрібними зернами



кварцу, які також заповнюють заглиблення у конкреціях. У відколах видно, що жовна мають світлий рожево-сірий, жовтувато-рожевий колір і складаються з прихованокристалічного фосфатного цементу з включеннями кварцу, польового шпату та глауконіту.

У класі +10 мм розміри уламків складають від 2 до 8 см. Переважна крупність уламків 3-5 см. Інша частина представлена пластовим фосфоритом. В зрізі спостерігається чергування прошарків, що відрізняються за кольором (бурі та темно-коричневі) та за крупністю матеріалу, що складає шари – від тонкого, порошкуватого лімоніту до більш темного гетиту та темно-коричневого сидериту. Зустрічаються темно-коричневі кулясті зерна і фрагменти (сидерит). Зустрічаються також ділянки світлого жовтувато-рожевого кольору, у вигляді псевдоморфоз фосфату по органічним залишкам. У заглибленнях та шорсткій поверхні зразків присутні скупчення зерен кварцу розміром від 0,1 до 0,5 мм. Також зустрічаються зерна глауконіту такого ж розміру.

Вміст  $P_2O_5$  у фосфоритовій руді ділянки Західна складає від 4,6 до 10,4%, вміст  $K_2O$  складає 0,45-2,42%, а нерозчинний залишок – 19,0-54,1% [9]. Середній вміст  $P_2O_5$  у фосфоритовій руді на ділянці складає 8,6% .

Ділянка Східна (проба 2).

Клас +20 мм представлений кутастими уламками ясно-сірої гірської породи з плямами білого кальциту і чергуванням темно- і ясно-сірих смуг. Матеріал пухкий. По всієї поверхні, а також в заглибленнях та шорстких поверхнях уламки покриті зернами кварцу (розміром 0,1-0,12 мм) і порошкуватими зернами кальциту. Спостерігається прихованокристалічний фосфатний цемент світлого жовтувато-рожевого кольору, відокремлених зерен фосфату немає. Розміри уламків від 2 до 10 см у поперечнику.

Клас +20 мм кожної з проб був роздрібнений до 2,0 мм, фракціонований за крупністю, після чого досліджені його мінеральний склад і масова частка  $P_2O_5$ . Баланс масової частки та розподілення  $P_2O_5$ , що розрахований, були порівняні з прямими хімічними визначеннями. Фосфат, а

також вміст  $P_2O_5$  проби 1 досить рівномірно розподіляються за класами крупності. Клас +20 мм складається, головним чином, з фосфоритових жовен та невеликої кількості мінерального агрегату, що бідний фосфором. Проба 2 більш пухка, кількість міжжовнового матеріалу у ній більш значна,  $P_2O_5$  у ньому відповідає лише 1,95 %, що свідчить про менший вміст у класі +20 мм цієї проби жовнових утворень.

Класи крупності  $-20+10$ ;  $-10+5$  та  $-5+2$  мм.

Матеріал цих класів обох проб однорідний за розміром та кольором. Це мінеральний агрегат сірого кольору з білими плямами карбонату (кальцит), як і у класі +20 мм. Тому класи крупності  $-20+10$ ;  $-10+5$  і  $-5+2$  мм можна було об'єднати у єдину фракцію кожної з проб. Виходи об'єднаних фракцій класів  $-20+2$  мм проби 1 та 2 склали 12,5 та 31,0%, відповідно. Проби були подрібнені до 2 мм та розсіяні на класи крупності. Визначений мінеральний склад та масова частка  $P_2O_5$  підтверджують висновки, що зроблені по класам +20 мм обох проб: матеріал з ділянки Перемога більш багатий у порівнянні з пробою з ділянки Заводська (масова частка  $P_2O_5$  в пробі 2 класу  $-20+2$  мм удвічі менша, ніж у пробі 1). Вихід шламів об'єданого класу  $-20+2$  мм проби 2 великий – 58%.

Отже, пухкий матеріал проби, що знаходиться між жовнами, вміщує незначну кількість фосфору і тому від нього можна звільнитись при збагаченні фосфоритової руди. Проба 1 більш багата  $P_2O_5$  (у вихідній пробі 10,8%, а в класах крупності +2 мм – 12,8%); шлами також вміщують доволі багато  $P_2O_5$  – 3,88%.

Клас крупності – 2 мм.

Вихід класу в вихідних пробах складає відповідно 20,4 і 35,4% та вміщує  $P_2O_5$  в них 2,91 та 2,07%

За мінеральним складом проби 1 і 2 близькі між собою, але відрізняються за співвідношенням мінералів. Головними мінералами проб є фосфат, кварц, польові шпати, глауконіт та інші гідрослюди, карбонати. Крім

них, у вигляді одиничних зерен присутні наступні мінерали: пірит, оксиди заліза, рутил, циркон.

Глауконіт та інші гідрослюди містяться у пробі 1 в кількості 4,7%, а у пробі 2 у кількості 7,2%. Глауконіт має сірувато-зелений колір, присутній головним чином у просторі між жовнами фосфориту. Мінерал магнітний, доволі легко виділяється у процесі збагачування у магнітну фракцію. Глауконіт вміщує 0,73%  $P_2O_5$  та 6,83%  $K_2O$ , що у комплексі з  $P_2O_5$  позитивно впливає на урожайність рослин при використанні фосфатних добрив.

У значних кількостях в пробах присутні кварц та польові шпати – 43,94 і 79,16% на вихідний матеріал проб 1 та 2 відповідно.

Кварц білий, безбарвний, прозорий та напівпрозорий, обкатаний та кутастий. Польові шпати представлені уламками ортоклазу і мікрокліну.

Кальцит присутній у невеликій кількості тільки у пробі 2 – 0,7%. У пробі 1 він зустрічається лише у вигляді рідкісних вкраплень.

Вміст  $P_2O_5$  у фосфоритовій руді ділянки Східна коливається від 3,5 до 9,4 %, вміст  $K_2O$  у фосфоритах складає 1,2-1,7%, а нерозчинний залишок 20,1-60,48% [9]. Середній вміст  $P_2O_5$  у руді на ділянці Східна складає 6,1%.

Радіологічний аналіз обох проб не виявив у них підвищеного вмісту радіонуклідів.

Згідно ГОСТ 5716, фосфоритне борошно за фізико-хімічними показниками повинне відповідати таким нормам: I гатунок – 29 - 1 %  $P_2O_5$ ; II гатунок – 23-1 %  $P_2O_5$ ; III гатунок – 20 - 1 %  $P_2O_5$ ; волога – 1,5 %; залишок на ситі з сіткою № 0,18 К – не більше 10 %. Сумським інститутом мінеральних добрив розроблені ТУ У6-14005076.053-99 «Агрофоска» для фосфоритного борошна Карпівського родовища, яке рекомендоване для безпосереднього внесення в ґрунт у вигляді добрива тривалої дії. Масова частка  $P_2O_5$  має бути не менше 10,0 %, води – не більше 1,5 %, залишок на сітці № 0,2 К – не більше 45 %, а засвоюваного фосфору – не менше 8% [9].

Тому фосфоритова руда Малокамишувахського родовища потребує збагачення.

## 4.2 Вивчення фосфатного мінералу проб

Мінерал класу фосфатів присутній у обох пробах у вигляді жовен, до яких, крім фосфату, входить, в основному, кварц. Мінерал має жовтувато-рожевий, ясно-коричневий колір, напівпрозорий, у тонких відколах – прозорий, опалоподібний (рис. 4.1).

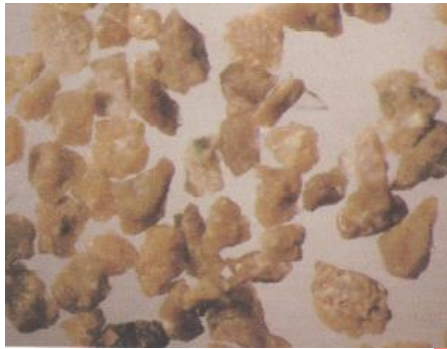


Рисунок 4.1 – Зерна фосфату під бінокулярним мікроскопом

В усіх класах крупності, окрім –0,071 мм, присутні зростки з кварцом, глауконітом, польовими шпатами. У вільному стані, без зростків, фосфат знаходиться тільки у класах менше 0,071 мм.

Була виділена мономінеральна фракція з вмістом  $P_2O_5$  30,3%. Результати хімічного аналізу мінералу наступні: CaO – 48,8%;  $SiO_2$  – 3,2%;  $Al_2O_3$  – 1,04%;  $CO_2$  – 5,05%; F – 4,74%;  $P_2O_5$  – 30,3%;  $Fe_2O_3$  – 1,42%; MgO – 1,1%;  $K_2O$  – 0,55%;  $H_2O^+$  – 1,9%;  $H_2O^-$  – 2,1%.

Показник заломлення світла фосфату відповідає 1,610-1,614, щільність знаходиться у межах 2,8-2,9 г/см<sup>3</sup>.

За хімічним складом та фізичними властивостями досліджений мінерал віднесений до карбонат-гідроксил-фторапатиту (курськіту). Хімічний склад визначався за допомогою рентгенофлуоресцентного аналізу. Для підтвердження діагностики мінералу був виконаний рентгенофазовий аналіз фосфориту. Він проводився на дифрактометрі ДРОН - 5. На дифрактограмі було зафіксовано рентгенівські максимуми декількох мінералів. Головним з них є карбонат-фторапатит або франколіт, різновидом якого є курськіт. До

нього відносяться міжплощинні відстані 3,43, 2,79, 2,76, 2,71, 1,936, 1,837 Å. Крім того, зафіксовані максимуми, що належать кварцу (3,34, 4,24 Å) та кальциту (3,03 Å).

З жовен фосфориту були виготовлені шліфи, які описані нижче.

У шліфах спостерігається нерівномірна будова фосфориту (рис. 4.2). Текстура коломорфна, структура мікрозерниста та псамітова.

Мінеральний склад фосфориту: колофаніт — 75 %, кварц — 25%, глауконіт — одиничні зерна.

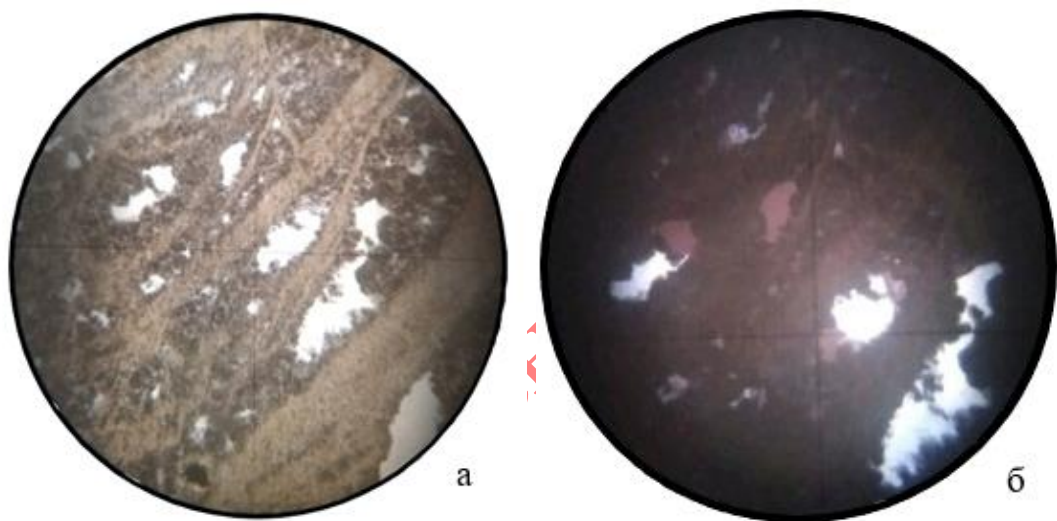


Рисунок 4.2 – Фото шліфів фосфоритової руди: а) – без аналізатора, б) – з аналізатором

Колофаніт утворює цемент жовен, має мікрозернисту будову. Мінерал має у шліфі жовто-сірий колір, ясний рельєф, двозаломлення дуже низьке.

Кварц представлений уламковими зернами розміром 0,1 мм. Він визначений за білим кольором, низьким рельєфом, білими кольором інтерференції (двозаломлення 0,009).

Глауконіт спостерігається у вигляді поодиноких зерен зеленого кольору, включених у масу фосфориту.

### 4.3 Розробка схеми обробки проб та рекомендацій по збагачуванню фосфоритів

Обробка рядових проб фосфоритів на хімічний аналіз повинна включати багатостадійний цикл подрібнення, стирання та скорочення матеріалу з контрольним просіюванням і зважуванням проб.

Схема обробки проб фосфоритів наведена на рис. 4.3.

Оскільки характер розподілу мінеральних компонентів у руді рівномірний, при розрахунках ваги початкової проби було прийнято коефіцієнт нерівномірності  $k=0,3$ , а мінімально допустима маса скорочення проб при такому коефіцієнті складає 0,3 кг.

Початкова вага проби повинна складати 8 кг, кінцева 0,25 кг. Подрібнення фосфоритів повинно проводитися до розміру не більше 1 мм.

Після вивчення речовинного складу і технологічних властивостей фосфоритів було розроблено схему їх збагачення. В результаті мінералогічних і хімічних аналізів було визначено, що основна частина корисного  $P_2O_5$  пов'язана з жовнами. Агрегат, що вміщує жовна, бідніший на фосфор і не представляє практичного інтересу.

Обидві технологічні проби однорідні за хімічним та мінеральним складом та відрізняються лише співвідношенням компонентів, що їх складають. Фосфат і пов'язаний з ним фосфор відповідають крупним класам: 84,3 та 38,2% вихідних проб 1 і 2 відповідно припадає на клас +20 мм. У дрібному та шламівому матеріалі масова частка  $P_2O_5$  складає лише до 0,5%.

Виділення фосфатної фракції з високою масовою часткою  $P_2O_5$  із обох проб потребує певних зусиль.

Прогнозована схема збагачування:

- дезінтеграція, грохочення і відділення у відвал фракції крупності –2 мм;
- додрібнення класу +2 мм до крупності 0,071 мм;
- флотація.

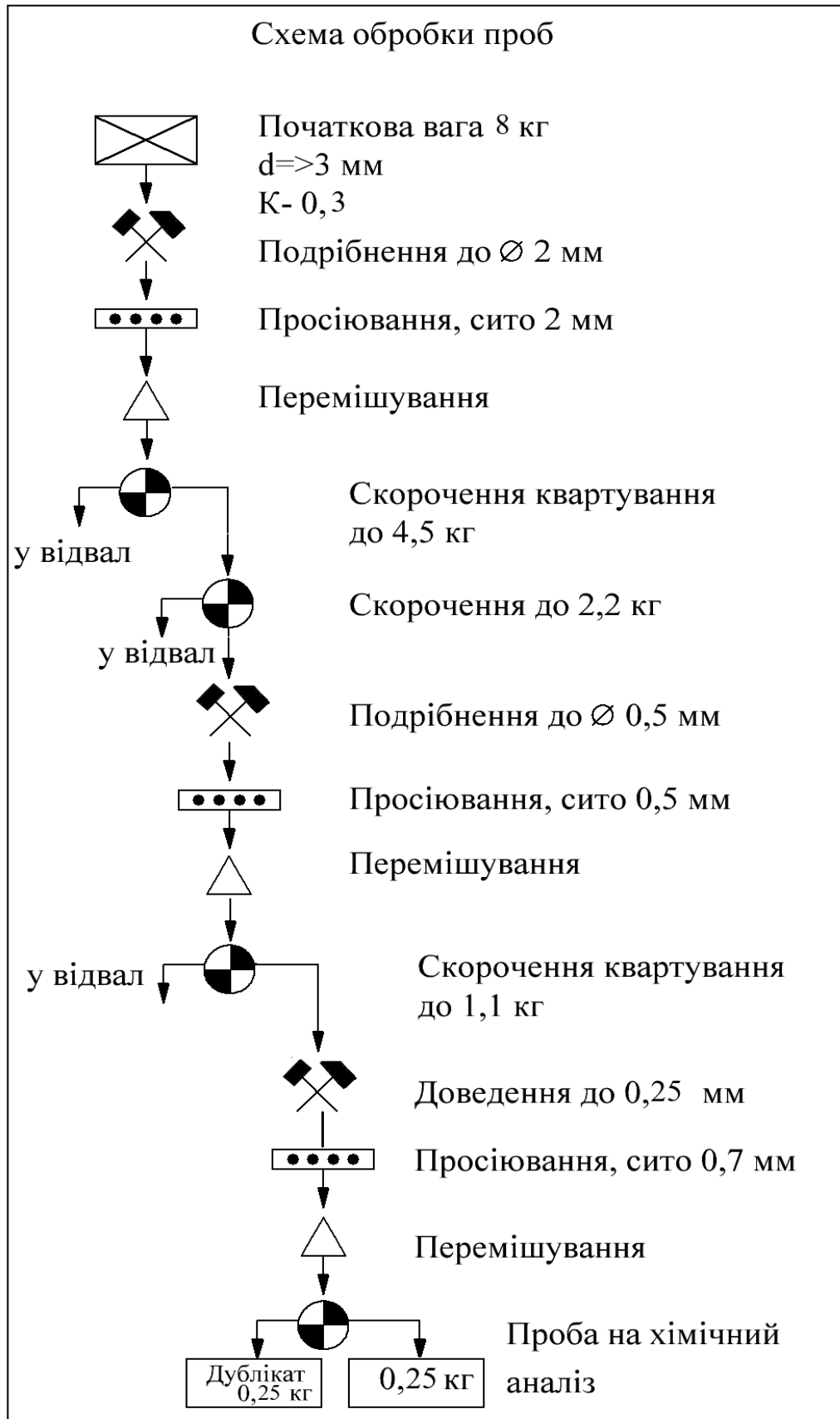


Рисунок 4.3 – Схема обробки проб

Флотаційний концентрат може вміщати до 30%  $P_2O_5$ .

Фосфоритова руда проби 2 обов'язково потребує технологічного збагачування. Оскільки неможливо відокремити курськіт від кварцу ні за щільністю, ні за магнітними властивостями, найбільш прийнятним методом збагачування може бути дроблення до 0,071 мм з наступною флотацією.

Для підвищення ефективності застосування мелених фосфоритів рекомендується підвищення тонкості помелу фосфориту, розмір часток повинен бути менше 0,1 мм.

### **Висновки до розділу:**

Зважаючи на кількість уламкового матеріалу та вміст  $P_2O_5$ , фосфорит Малокомишуваського родовища належить до піскуватого різновиду. Фосфорити родовища являють собою жовна, складені уламками зерен кварцу, які зцементовані мікрокристалічними та аморфними мінералами групи апатиту.

За хімічним складом та фізичними властивостями фосфатний мінерал родовища є карбонат-гідроксил-фторапатитом, представленим його різновидами курськітом і колофанітом.

Фосфоритова руда і самі жовна фосфоритів різних ділянок родовища дещо відрізняється за вмістом фосфору, а саме, на ділянці Західна середній вміст  $P_2O_5$  трохи вищий (8,6%) у порівнянні з ділянкою Східна (де середній вміст  $P_2O_5$  складає 6,1%).

Оскільки вміст радіонуклідів у фосфоритах не перевищує норми, вони можуть бути використані для виготовлення добрив для сільського господарства.

Процентний вміст у фосфоритовій руді  $P_2O_5$  недостатній для її безпосереднього використання, тому руда потребує збагачення для виділення фосфатної фракції з високою масовою часткою  $P_2O_5$ . Збагачення повинно



включати дезінтеграцію, грохочення і відділення у відвал фракції крупності – 2 мм, додрібнення до крупності 0,071 мм та флотацію.

Не для копіювання 103-18СК-1

## ВИСНОВКИ

В ході виконання кваліфікаційної роботи було детально вивчено мінеральний і хімічний склад та технологічні властивості двох технологічних проб фосфоритів, відібраних на двох ділянках Малокомишувахського родовища.

Було виконано гранулометричний і мінералогічний аналіз, в результаті яких було встановлено, що фосфат і пов'язаний з ним фосфор відповідають крупним класам: 84,3 та 38,2% вихідних проб 1 і 2, відповідно. Разом з тим, у вільному стані, без зростків, фосфат знаходиться тільки у класах крупності менше 0,071 мм.

Хімічний аналіз та вивчення фосфориту у шліфах показали, що фосфат є карбонат-гідроксил-фторапатитом (курськітом). Був також проведений рентгенофазовий аналіз фосфориту, який підтвердив цей висновок. На рентгенограмі було зафіксовано рентгенівські максимуми декількох мінералів. Головним з них є карбонат-фторапатит або франколіт, різновидом якого є курськіт; крім того, у пробі встановлені кварц та кальцит.

Фосфоритова руда родовища потребує збагачення для підвищення процентного вмісту  $P_2O_5$ . В результаті дослідження було визначено, що основна частина корисного  $P_2O_5$  пов'язана з жовнами. Агрегат, що їх вміщує, бідніший на фосфор і не представляє практичного інтересу. Було розроблено схему обробки проб і рекомендації по збагаченню фосфоритової руди. Воно повинно включати дезінтеграцію, грохочення і відділення у відвал фракції крупності  $-2$  мм, додрібнення до крупності 0,071 мм та флотацію.

Фосфоритова руда і самі жовна фосфоритів різних ділянок родовища дещо відрізняється за вмістом фосфору, а саме, на ділянці Західна вміст  $P_2O_5$  трохи вищий у порівнянні з ділянкою Східна.

**ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ**

1. Блисковский В.З. Вещественный состав и обогатимость фосфоритовых руд. Геология месторождений фосфоритов, методика их прогнозирования и поисков. М.: Недра, 1980. 247 с.
2. Волошин М.Д. Дніпродзержинський державний технічний університет. Методичні вказівки Нові хімічні технології, 2014. 16 с.  
Код доступу: <http://www.dstu.dp.ua/Portal/Data/5/7/2-7-mzs33.pdf>
3. Виноградов Г.Ф, Грінченко О.В., Курило М.В. Неметалічні корисні копалини України. Київ : КНУ, 2003. 219 с.
4. Геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Лист М-37-XXVI. Серия Донбасская. Объяснительная записка. М.: Госнаучтехиздат по геологии и охране недр, 1961. 124 с.
5. Гудзенко В.В., Шехунова С.Б., Стадніченко С.М. Радіогеохімічні особливості фосфоритів України. *Пошукова та екологічна геохімія*. 2015. № 1. С. 32-36.
6. Гурвич М.Ю. Современные методы исследования минералов, горных пород и руд: Учебное пособие. М.Ю. Гурвич; М.: РГГУ, 2009. 143 с.
7. Інформаційно-освітня система Геологічний словник: відкритий навчально-науковий веб-ресурс. Код доступу: <https://geodictionary.com.ua/node/4346#:~:text=>
8. Панкратьев П.В., Пономарева Г.А. Лабораторные методы исследования минерального сырья. Физико-химические методы исследования, 2007. 133 с.
9. Павлов Г.Г, Павлова О.О., Білан О.В. Мікроскопічні дослідження гірських порід. : навчальний посібник. К. : Видавничо-поліграфічний центр “Київський університет”. 2014. 224 с.
10. Прошляков Б.К., Кузнецов В.Г. Литология : Учеб. Для ВУЗов. М. : Недра, 1991. 444 с.

11. Корнеєнко С.В. Дослідження складу, фізичних і фізико-хімічних властивостей ґрунтів: навчальний посібник. 2016. 217 с. [Електронний ресурс]. Код доступу: [http://www.geol.univ.kiev.ua/lib/soils\\_properties.pdf](http://www.geol.univ.kiev.ua/lib/soils_properties.pdf)

12. Сімончук М.М. Звіт про геологічне вивчення надр “Пошуково-оціночні роботи на фосфорити на ділянках Перемога та Заводська у Харківській області”, 2009. 90 с.

13. Фосфорити як агрохімічна сировина: Мінералогічні та радіогеохімічні особливості фосфоритів вітчизняних родовищ. 1-17 с. [Електронний ресурс]. Код доступу: <http://archive-transactions.igs-nas.org.ua/article/view/220142>

14. Хмелевський В.О., Хмелевська О.В. Літологія: Літогенез. Осадкові породи : навч. посібник. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2015. 536 с.

15. URL: <https://geodictionary.com.ua/node/4346>

16. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/ros1/wp-content/uploads/sites/20/lr.4.vyznachennja-hranulometrychnoho-skladu-gruntiv-i-gruntotvornyh-porid.pdf>

17. <https://helpiks.org/4-112794.html>

Не для копіювання

**ДОДАТОК А**

## Відомість матеріалів кваліфікаційної роботи

№	Формат	Позначення	Найменування	Кількість аркушів	Примітка
			Документація		
1	A4	ТСТ.ОППМ.21.06.ПЗ	Пояснювальна записка	55	
2			Графічні матеріали		Електронний ресурс
			Презентація Microsoft PowerPoint	14	

Не для копіювання 103-18СК-1

**ДОДАТОК Б**

Відгук керівника кваліфікаційної роботи

Не для копіювання 103-18СК-1

**ДОДАТОК В**

Рецензія

Не для копіювання 103-18СК-1