

МІНІСТЕРСТВО НАУКИ І ОСВІТИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ТІХЛІВЕЦЬ СЕРГІЙ ВАДИМОВИЧ

УДК 553.31:549:622.02 (477.63)

ДИСЕРТАЦІЯ
ГЕОЛОГІЧНІ ФАКТОРИ СТІЙКОСТІ ГІРНИЧИХ МАСИВІВ
РОДОВИЩ ПІВНІЧНОГО ЗАЛІЗОРУДНОГО РАЙОНУ

Спеціальність 103 Науки про Землю
Галузь знань 10 Природничі науки

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ Тіхлівець С.В.
(підпис, ініціали та прізвище здобувача).

Науковий керівник:

Харитонов Віталій Миколайович
кандидат геологічних наук, доцент

Кривий Ріг - 2024

АНОТАЦІЯ

Тіхлівець Сг.В. Геологічні фактори стійкості гірничих масивів родовищ Північного залізорудного району. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 103 Науки про Землю. – Криворізький національний університет, Кривий Ріг, 2024. 150 с.

Дисертаційна робота присвячена комплексному вивченню геологічних факторів впливу на стійкість гірничих масивів Первомайського та Ганнівського родовищ Криворізького басейну.

Технологічні фактори, такі як відставання розкривних робіт від видобутку залізних руд, спричинили негативні зміни стану гірничих масивів Первомайського та Ганнівського кар'єрів, основною рудою яких є бідні магнетитові руди Криворізького басейну. Така ситуація спричиняє утворення ділянок підвищеної вологості гірських порід, зсувів, обвалів тощо, як наслідок, фіксується зменшення стійкості бортів, що несе за собою створення аварійних ситуацій. Геодинамічні показники гірничих масивів залежать як від їх фізичних властивостей, так і мінералогічних особливостей.

Метою роботи є визначення закономірностей сучасного мінерального, хімічного складу, фізичних, технічних властивостей руд і вміщуючих порід, які обумовлені специфікою проявів різних геологічних процесів, для розробки 3D моделі стійкості гірничих масивів родовищ Північного залізорудного району Криворізького басейну.

У **вступі** наводиться загальний опис дисертаційної роботи, розкрито актуальність роботи, мету та поставлені задачі дослідження, використані методи досліджень, обґрунтовано наукову новизну і практичну значимість роботи.

Розділ 1 містить чотири підрозділи, які присвячені вивченню геологічної позиції Первомайського та Ганнівського родовищ. В *підрозділі 1.1.* розглядаються пи-

тання геологічної будови родовищ, сучасні погляди на стратиграфічну схему родовищ, породний склад кожної світи в розрізі криворізької серії. В *підрозділі 1.2.* детально описана тектонічна будова обох родовищ, охарактеризовані відмінності в деформаційних змінах продуктивних та вміщуючих товщах родовищ. В *підрозділах 1.3 та 1.4* наведено інформацію про умови прояву епігенетичних процесів, відповідно, метасоматозу і вивітрювання. В кінці кожного підрозділу автором зроблені висновки щодо можливого впливу наведених факторів на стійкість гірничих масивів.

Розділ 2 містить інформацію про аналіз раніше виконаних досліджень за темою дисертації. Акцентовано увагу на методики розрахунку коефіцієнтів стійкості, які використовуються при проведенні гірничих робіт. Проаналізовано фактори, вплив яких враховано при розрахунках запасів стійкості бортів, акцентовано увагу на відсутність комплексного підходу до вивчення стійкості гірничих масивів.

Розділ 3 присвячений опису вихідного матеріалу та методиці проведення досліджень. Наведені всі використані автором методи та обладнання з вказанням виконаних об'ємів робіт.

Розділ 4 містить шість підрозділів, кожен з яких поділяється за напрямками досліджень. Цей розділ є основним. В ньому наведено результати вивчення впливу геологічних факторів на стійкість гірничих масивів. Першим (*підрозділ 4.1.*) описаний мінералогічний фактор, вплив якого обумовлено проявом сингенетичних та епігенетичних процесів в межах обох родовищ. Різні за хімічним складом мінерали та гірські породи по-різному реагують на прояви вторинних геологічних (динамометаморфізм, метасоматоз, гіпергенез та ін.) та техногенних процесів (буровибухових, добувних тощо). В результаті дії метасоматичних процесів відбувається перетворення мінерального, хімічного складу руд, структурних та текстурних особливостей. При цьому, рибекітизовані різновиди майже не відрізняються за фізичними й технічними характеристиками від первинних порід. Егіриніти та окварцовані породи характеризуються збільшенням міцності руд. Але ці різновиди в продуктивній товщі фіксуються в незначній кількості, тому їх вплив на стійкість бортів обмежений. Процеси вивітрювання приводять до суттєвого зменшення геодинамічної стійкості гірничих масивів.

Кількісне співвідношення мінералів в породних комплексах родовищ визначає фізичні, технічні властивості руд і порід, що обумовлено фізичними властивостями цих мінералів. Низька стійкість гірничих масивів, складених тальк-вмісними сланців скелюватської світи, обумовлена їх низькими показниками міцності (твердість за шкалою Ф.Мооса 1-2) та досконалою спайністю тальку, хлориту, серпентину. Високі показники геодинамічної стійкості магнетитових, залізнослюдко-магнетитових кварцитів продуктивної товщі забезпечуються високою твердістю за шкалою Ф.Мооса 5-7 головних мінералів (кварцу, магнетиту, гематиту) та відсутністю фізичної властивості - спайності. Це пояснює суттєвий вплив мінералогічного фактору на стійкість гірничих масивів.

В *підрозділі 4.2.* описаний хімічний склад руд продуктивної товщі та його вплив на стійкість гірничих масивів. Аналізувались результати скороченого фазового аналізу.

Підрозділ 4.3. присвячений вивченню впливу геологічних факторів на стійкість гірничих масивів, а саме особливостей стратиграфії, тектоніки родовищ, гідрогеологічних умов. За стратиграфічною схемою виділено нестійкі верстви (кайнозойські відклади, тальк-вмісні сланці скелюватської світи, деякі різновиди гіпергенних порід); проміжні за стійкістю масиви (силікат-вмісні породи новокриворізької, скелюватської, гданцівської світ) та верстви високої стійкості (кварцити саксаганської світи, амфіболіти новокриворізької світи, мономінеральні кварцити скелюватської світи, гнейсоподібні сланців, мономінеральні кварцити гданцівської світи).

Тектонічні процеси, які активно проявлені в межах обох родовищ у вигляді розривних порушень, описані в *підрозділі 4.4.* Діяльність глибинних розломів Криворізького-Кременчуцького та Девладівського сприяла утворенню серії опіряючих розривних порушень, прояв яких дозволяє поділити обидва родовища на тектонічні блоки (для Первомайського родовища на три блоки, а Ганнівське – на чотири). Рух цих блоків сприяв утворенню деформаційних зон – тріщинуватості, брекчіювання, катаклазу та мілонітизації. Відповідно при збільшенні інтенсивності проявів цих

процесів від тріщинуватих руд до мілонітів збільшується ступінь руйнації гірських масивів, і, як наслідок, зменшується їх механічна стійкість.

В *підрозділі 4.5.* описані гідрогеологічні умови залягання гірських порід, розташування водоносних горизонтів в межах Первомайського та Ганнівського родовищ, причини утворення зон обводнення та підвищеної зволоженості. *Підрозділ 4.6.* присвячений аналізу результатів визначення фізичних та технічних характеристик руд та вміщуючих порід, охарактеризовані показники густини, об'ємної маси, міцності та коефіцієнту за Протодьяконовим. Виділено за отриманими результатами групи гірських порід за їх фізичними та технічними показниками.

Розділ 5 присвячений геодинамічному стану масивів та картуванню продуктивної та вміщуючих товщ за показниками їх стійкості. За отриманими результатами побудовано карти стійкості гірничих масивів з урахуванням геологічних процесів. Було проведено 3D-моделювання Первомайського родовища з виділенням ділянок родовища, які потребують впровадження різних варіантів оперативного та перспективного планування, а також проведення буровибухових і добувних робіт.

Основні результати дисертаційних досліджень містять **наукову новизну**:

1) визначено вплив первинних (сингенетичних) та вторинних (епігенетичних) геологічних процесів на стійкість гірничих масивів досліджених родовищ;

2) встановлено закономірності мінливості мінерального, хімічного складу та фізичних, технічних властивостей руд і гірських порід Первомайського та Ганнівського родовищ і, як наслідок, стійкості бортів кар'єрів, якими вони розробляються;

3) обґрунтовано оптимізаційні принципи структурного оперативного картування родовищ Північного залізорудного району Криворізького басейну з виділенням ділянок різної стійкості гірничих масивів з урахуванням геологічних факторів.

Практичне значення. Отримані результати є основою для виділення ділянок родовищ Північного залізорудного району Криворізького басейну, у межах яких слід упроваджувати розроблені й обґрунтовані варіанти оперативного, перспективного планування та проведення буровибухових і видобувних робіт.

Ключові слова: Український щит, формації, залізорудні райони, Криворізький басейн, залізні руди, фактори рудоутворення, геологічні структури, мінеральний

склад, метасоматити, розривні деформації, глибинні розломи, тектонічні тріщини, гідрогеологічні процеси, стійкість гірничих масивів, геологічне моделювання

ABSTRACT

Tikhlivets Sg.V. Geological Factors Affecting Rock Mass Stability in Deposits of the Northern Iron Ore District. — Qualifying scientific work on the rights of a manuscript.

Thesis for the Degree of Doctor of Philosophy in Earth Sciences (Specialty 103). Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, 2024. 150 pp.

This thesis is dedicated to a comprehensive study of the geological factors affecting the stability of the Pervomaiske and Hannivske deposits in the Kryvyi Rih Iron Ore Basin. Technological factors, such as the lag between stripping and mining of iron ore, have caused negative changes in the condition of the Pervomaiskyi and Hannivskyi open pits, resulting in poor-quality magnetite ore from the Kryvyi Rih Iron Ore Basin. It leads to the formation of areas with high rock humidity, landslides, rockfalls, etc., resulting in decreased stability of pit walls and emergencies. The geodynamic parameters of rock mass depend on both their physical properties and mineralogical features.

The purpose of the thesis is to determine the regularities of the current mineral, chemical composition, physical and technical properties of ores and enclosing rocks, which are due to the specifics of various geological processes, in order to develop a 3D model of the stability of rock masses of deposits in the Northern Iron Ore District of the Kryvyi Rih Basin.

The **introduction** outlines the thesis, presenting its significance, objectives, employed research methods, and underscoring its scientific innovation and practical importance.

Chapter 1 focuses on the geological positioning of the Pervomaiske and Hannivske deposits. It begins with a discussion on the geological structure of the deposits, the latest concepts in deposit stratigraphy, and the rock composition of each suite within the Kryvyi Rih series. Additionally, it provides a detailed account of the tectonic structure of both deposits, highlighting differences in deformational changes within the productive and enclosing rock mass of the deposits. The chapter also explores the conditions for epigenetic pro-

cesses, specifically metasomatism and weathering. The author provides conclusions regarding the potential impact of the discussed factors on rock mass stability.

Chapter 2 presents information on previous research related to the thesis topic, with a focus on methods for calculating stability factors in mining operations. The analysis includes factors influencing the calculation of pit wall stability reserves and underscores the absence of an integrated approach to studying rock mass stability.

Chapter 3 provides a description of the source materials and research methodology. It includes a comprehensive presentation of all methods and equipment utilized by the author, along with details regarding the scope of work conducted.

Chapter 4 is crucial as it presents the findings on the influence of geological factors on rock mass stability. It explores the mineralogical factor, influenced by syngenetic and epigenetic processes in both deposits. Minerals and rocks of varying chemical compositions react diversely to secondary geological processes (dynamometamorphism, metasomatism, hypergenesis, etc.) and anthropogenic activities (drilling, blasting, mining, etc.). Metasomatic processes transform the mineral and chemical composition of ore, along with its structural and textural features. Riebeckite varieties exhibit physical and technical characteristics similar to primary rocks. Aegirinite and quartzized rocks contribute to increased ore thickness but are present in small quantities within productive strata, limiting their impact on pit wall stability. Weathering processes significantly reduce the geodynamic stability of rock mass.

The quantitative composition of minerals within the rock complexes of the deposits determines the physical and technical properties of ore and rock, primarily influenced by the physical properties of these minerals. The low stability of rock mass composed of talc-containing schists from the Skeliuvatska suite is attributed to their low thickness (hardness on the Mohs scale of 1–2) and strong adhesion among talc, chlorite, and serpentine. In contrast, the high geodynamic stability of magnetite and iron-mica-magnetite quartzite in the productive strata stems from the high Mohs hardness (5–7) of key minerals such as quartz, magnetite, and hematite, coupled with their lack of adhesive properties. This underscores the significant influence of the mineralogical factor on rock mass stability. This

chapter describes the chemical composition of ore in the productive strata and its impact on rock mass stability. The results of the reduced phase analysis were examined.

Chapter 4 also studies the impact of geological factors on rock mass stability, specifically stratigraphy, deposit tectonics, and hydrogeological conditions. According to the stratigraphic scheme, the layers are classified as follows: unstable layers (Cenozoic sediments, talc-containing schist of the Skeliuvatska suite, some types of hypergene rocks); intermediate stability rocks (silicate-bearing rocks of the Novokryvorizka, Skeliuvatska, and Gdantsivska suites); and high stability strata (quartzite of the Skeliuvatska suite, amphibolite of the Novokryvorizka suite, monomineral quartzite of the Skelyuvatska suite, gneissic schist, monomineral quartzite of the Gdantsivska suite).

The tectonic processes actively occurring within both fields in the form of faultings are also described. The activity of the Kryvyi Rih-Kremenchuk and Devladvyskyi deep faults contributed to the formation of a series of enclosing faultings, which divide both deposits into tectonic blocks (the Pervomaiske deposit is divided into three blocks, and the Hannivske deposit is divided into four blocks). The movement of these blocks has led to the formation of fault zones characterized by fracturing, brecciation, cataclasis, and mylonitization. As the intensity of these processes increases, from fractured ore to mylonite, the degree of rock mass destruction increases, thereby decreasing their mechanical stability.

Additionally, Chapter 4 describes the hydrogeological conditions of rock bedding, the location of aquifers within the Pervomaiske and Hannivske deposits, and the causes of the formation of waterlogged and high moisture content zones. It also includes the analysis of the physical and technical characteristics of ore and enclosing rocks, characterized by density, bulk density, thickness, and the Protodiakonov scale. Based on the results obtained, the rocks are grouped according to their physical and technical characteristics.

Chapter 5 focuses on the geodynamic condition of rock mass and the mapping of productive and enclosing rock mass by their stability indicators. Stability maps of rock mass were constructed, taking into account geological processes. 3D modeling of the Pervomaiske deposit was performed to identify areas requiring various operational and long-term planning options, as well as drilling, blasting, and mining operations.

The **Conclusions** summarize the work performed and present the main results obtained from the research.

This thesis is supplemented by appendices containing the results of determining the total iron content and iron as a component of magnetite in ore and enclosing rocks of the Pervomaiske and Hannivske deposits, as well as the results of determining their physical and technical parameters.

The research results thesis contain the following **scientific novelty**:

1) determination of the influence of primary (syngenetic) and secondary (epigenetic) geological processes on rock mass stability in the studied deposits.

2) establishment of patterns in the variability of mineral and chemical composition, as well as physical and technical properties of ore and rocks in the Pervomaiske and Hannivske deposits, influencing the stability of pit walls.

3) substantiation of optimization principles for structural and operational mapping of deposits in the Northern Iron Ore District of the Kryvyi Rih Iron Ore Basin, including the identification of areas with varying rock mass stability based on geological factors.

Practical significance: The obtained results form the foundation for delineating areas within the Northern Iron Ore District of the Kryvyi Rih Iron Ore Basin. These areas are where developed and substantiated options for operational and prospective planning, as well as the execution of drilling, blasting, and mining operations, should be implemented.

Keywords: Ukrainian Shield, formations, iron ore areas, Kryvyi Rih Iron Ore Basin, iron ore, ore formation factors, geological structures, mineral composition, metasomatism, discontinuous faults, deep faults, tectonic fractures, hydrogeological processes, rock mass stability, geological modeling.

Список публікацій здобувача за темою дисертації:

1. Sg.Tikhlivets, V.Evtekhov, S.Tikhlivets, A.Urin Influence of tectonic processes on the stability of ore massifs of the Northern Iron Ore Region. Journ. Geol. Geograph. Geocology, 2022, 41 (4), p. 795-801. DOI 10.15421/112274

2. Євтехов В.Д., Тіхлівець Сг.В., Демченко О.С., Євтехов Є.В. Вплив природних факторів на стійкість розкритих гірничих масивів Кривбасу. Мінералогічний фактор. Геолого-мінералогічний вісник Криворізького національного університету, №1-2 (43-44), 2020. Стор. 44-65. DOI 10.31721/2306-5443-2020-43-44-1-2-43-63

3. Тіхлівець Сг., В., Тіхлівець С.В. Фізичні властивості залізистих кварцитів як показник впливу на стійкість розкритих гірських масивів Ганнівського родовища. Геолого-мінералогічний вісник Криворізького національного університету, №1-2 (45-46), 2021, С. 83-90. DOI 10.31721/2306-5443-2021-45-46-1-2-83-89.

4. Тіхлівець Сг., В., Тіхлівець С.В. Геологічні засади розробки 3D моделі стійкості бортів Ганнівського кар'єру Північного ГЗКу. Геолого-мінералогічний вісник Криворізького національного університету, №1 (49), 2023, С. 26-32. DOI 10.31721/2306-5443-2023-49-1-26-32

5. Тіхлівець Сг., В., Тіхлівець С.В. ГІС для моніторингу стійкості гірничих масивів Північного залізородного району Криворізького басейну. Геолого-мінералогічний вісник Криворізького національного університету, №2 (50), 2023, С.49-57. DOI 10.31721/2306-5443-2023-50-2-49-57

6. Тіхлівець С.В., Філенко В.В., Трунін О.М., Тіхлівець Сг.В., Юрін А.О. Вплив гіпергенних процесів на залізо-кремністу формацію Північного району Кривбасу. Збірник праць всеукраїнської конференції «Від мінералогії і геогнозії до геохімії, петрології, геології та геофізики: фундаментальні і прикладні тренди XXI століття» (MinGeoIntegration XXI), 23-25 вересня 2020 року., Київ, С. 209-214

7. Трунін О.М., Кульков О.М., Тіхлівець С.В., Філенко В.В., Тіхлівець Сг.В., Юрін А.О., Смірнова Г.Я. Гетит глибинної кори вивітряння залізних руд родовища шахти «Ювілейна» (Криворізький басейн). Розвиток промисловості та суспільства. Міжнародна науково-практична конференція. Матеріали конференції 17-12 листопада 2020 року, Кривий Ріг. Видав.центр КНУ, С. 47-51.

8. Євтехов В.Д., Тіхлівець Сг., В., Євтехов Є.В. Геологічні фактори утворення руд і гірських порід Північного залізородного району. Седиментація та діагенез. Розвиток промисловості та суспільства. Міжнародна науково-практична конференція.

Матеріали конференції 17-12 листопада 2020 року, Кривий Ріг. Видав. центр КНУ, С. 59-61.

9. Sg.Tikhlivets, V. Evtekhov, S.Tikhlivets, N. Holiver. Metamorphism as the main geological process of genesis of ore and rocks: case of the Northern iron-ore district of Kryvyi Rih basin. Widening our horizons. The 16th International Forum for Students and Young Researchers. April 21-22, 2021, Dnipro University of Technology, 2021, p. 460-461.

10. Evtekhov V.D., Demchenko O.S, , Evtekhov E.V., Tikhlivets Sg.V. Geological factors of the stability of the open pit walls. Book of Abstracts of the 3rd International Conference on Sustainable Futures: Environmental, Technological, Social and Economic Matters, Ukraine, 24-27 May 2022. Ed. by Anna Iatsyshyn. Kyiv, 2022, p. 22-23.

11. Тіхлівець Сг.В., Євтехов В.Д., Тіхлівець С.В. Вплив хімічного складу магнетитових кварцитів на стійкість гірських масивів залізорудних родовищ Криворізького басейну Збірник праць Всеукраїнської конференції «Від мінералогії і геогнозії до геохімії, петрології, геології та геофізики: фундаментальні і прикладні тренди XXI століття» (MinGeoIntegration XXI), 28-30 вересня 2022 року. С. 126-129.

12. Євтехов В.Д., Тіхлівець Сг.В., Тіхлівець С.В. Склад магнетиту як показник варіативності стійкості гірських масивів залізорудних родовищ Кривбасу. Геологічна будова та корисні копалини України: Збірник тез всеукраїнської наукової конференції (Київ, 12-13 жовтня 2022 р.). НАН України, Ін-т геохімії, мінералогії та рудотворення ім. М.П. Семененка. Київ, 2022., С.164-167.

13. Тіхлівець Сг.В., Євтехов В.Д., Тіхлівець С.В. Епігенетичні процеси як чинник впливу на стійкість гірничих масивів Північного залізорудного району. Мінералогія України: сучасний стан і перспективи: Дванадцяті наукові читання імені академіка Євгена Лазаренка : матеріали. Відп. ред. О. Матковський. Львів: Видав. центр ЛНУ імені Івана Франка, 2022. С. 21-25.

14. Tikhlivets. S., Tikhlivets Sg. Liquid metal mineralization of mesomat zone in ores of gneiss-schist complex of Kryvyi Rih direct. 5th International Scientific and Technical Internet Conference “Innovative development of resource-saving technologies and

sustainable use of natural resources”. Book of Abstracts. - Petroşani, Romania: UNIVERSITAS Publishing, 2022. P. 72-73.

15. Тіхлівець С.В. Передумови складання спеціалізованої ГІС сейсмічної стійкості гірничих масивів Північного залізрудного району Криворізького басейну. Збірник матеріалів Всеукраїнської науково-практичної конференції «Євтеховські читання», 7 квітня 2023, Кривий Ріг, 2023, С. 92-95.

16. Тіхлівець С.В., Харитонов В.М., Тіхлівець С.В. Геологічні фактори впливу на стійкість гірничих масивів Північного залізрудного району Криворізького басейну. Стратиграфічний фактор. Збірник матеріалів Всеукраїнської науково-практичної конференції «Євтеховські читання», 5 квітня 2024, Кривий Ріг, 2024, С. 87-89.

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП.....	16
РОЗДІЛ 1. ГЕОЛОГІЧНА ПОЗИЦІЯ ПЕРВОМАЙСЬКОГО ТА ГАННІВСЬКОГО РОДОВИЩ.....	20
1.1. Стратиграфічна схема родовищ.....	23
1.2. Тектонічна будова родовищ.....	28
1.3. Метасоматичні процеси.....	32
1.4. Процеси вивітрювання.....	33
Розділ 2. АНАЛІЗ РАНІШЕ ВИКОНАНИХ РОБІТ.....	35
Розділ 3. ВИХІДНИЙ МАТЕРІАЛ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИХ РОБІТ.....	42
Розділ 4. ВПЛИВ ПРИРОДНИХ ФАКТОРІВ НА СТІЙКІСТЬ ГІРНИЧИХ МАСИВІВ.....	46
4.1. Мінералогічний фактор.....	46
4.1.1. Сингенетичні мінерали продуктивної товщі.....	48
4.1.2. Сингенетичні мінерали вміщуючих товщ.....	56
4.1.3. Епігенетичні мінерали вміщуючих товщ.....	63
4.2. Хімічний склад руд і порід.....	74
4.3. Геологічний фактор.....	76
4.3.1. Стратиграфія.....	76
4.3.2. Тектоніка.....	79
4.4. Гідрогеологічний фактор.....	88
4.5. Фізичні, технічні властивості руд.....	93

стор.

Розділ 5. КАРТУВАННЯ ГІРНИЧИХ МАСИВІВ ЗА ПОКАЗНИКАМИ СТІЙКОСТІ.....	100
ВИСНОВКИ.....	108
ЛІТЕРАТУРА.....	111
ДОДАТКИ.....	124

ВСТУП

Первомайським і Ганнівським кар'єрами Північного ГЗКу проводиться розробка покладів бідних магнетитових руд (магнетитових кварцитів) для виробництва магнетитового концентрату. В контур відпрацювання продуктивних товщ обох родовищ входять також низько- або некондиційні магнетит-силікатні кварцити вміщуючих залізистих й сланцевих горизонтів саксаганської світи.

Як наслідок, у складі рудної маси, яка видобувається, зустрічаються руди з домішками вміщуючих гірських порід з різний мінеральним, хімічним складом та фізичними, технічними властивостями. Рудна маса Первомайського та Ганнівського родовищ представлена 15 мінеральними різновидами руд і гірських порід, які утворились в результаті дії геологічних процесів, таких як седиментація, метаморфізм, тектогенез, метасоматоз, гіпергенез тощо. Така мінливість в (мінералогічна, геохімічна) спрямованості процесів обумовлює варіативність фізичних, технічних характеристик руд і порід, що несе за собою – різноманіття стійкості гірничих масивів у процесі проведення буровибухових і видобувних робіт. Геологічні, мінералогічні, технічні дослідження є основою для виділення ділянок різної стійкості бортів, розробки геолого-технічних погоризонтних планів і розрізів по стійкості гірничих масивів.

Об'єкт дослідження: гірничі масиви, складені магнетитовими кварцитами та вміщуючими породами Первомайського та Ганнівського родовищ.

Предмет дослідження: геологічні процеси, які впливають на стійкість гірничих масивів родовищ Північного залізородного району Криворізького басейну.

Мета роботи: визначення закономірностей сучасного мінерального, хімічного складу, фізичних, технічних властивостей руд і вміщуючих порід, які обумовлені

специфікою проявів різних геологічних процесів, для розробки 3D моделі стійкості гірничих масивів родовищ Північного залізорудного району Криворізького басейну.

Поставлені задачі:

- аналіз результатів раніше виконаних досліджень;
- проведення мінералогічного опробування руд і гірських порід продуктивних і вмісних товщ Первомайського та Ганнівського родовищ;
- мінералогічне, хімічне дослідження руд і порід, ідентифікація їх мінеральних різновидів;
- визначення фізичних, технічних показників руд і вміщуючих гірських порід та їх класифікація за цими показниками;
- узагальнене оцінювання впливу геологічних, мінералогічних, стратиграфічних, гідрогеологічних факторів на фізичні, технічні характеристики руд і порід та, як наслідок, на стійкість гірничих масивів;
- статистична обробка результатів досліджень, представлення даних в аналітичній і графічній формах, розробка класифікацій стійкості гірничих масивів; побудова карт стійкості гірничих масивів.

Методи досліджень – аналітичний (аналіз сучасного стану проблеми), геологічні (відбір проб, картування), мінералогічні (макроскопічне та мікроскопічне вивчення руд і порід, кількісне співвідношення мінералів, текстура, структура руд, морфологія зерен), хімічні (фазовий склад заліза в рудах і гірських породах, мікронзондовий аналіз), технічні (густинні та міцнісні характеристики руд і порід), графічні (побудова схем, карт тощо).

Вихідним матеріалом для проведення дисертаційних досліджень були відібрані в забоях обох кар'єрів проби руд та вміщуючих порід та результати визначення мінералогічних, хімічних, фізичних, технічних властивостей руд і гірських порід, представлених. Як додатковий матеріал використовувались дані досліджень руд і порід, представлених пробамі з фондів Криворізького національного університету та фондів геологічної служби ПівнГЗКу. При обробці, аналізі, узагальненні отриманих результатів досліджень автор використовував графічні, аналітичні методи досліджень.

Всі геологічні, мінералогічні, хімічні, фізичні, технічні дослідження виконувались у сертифікованих лабораторіях у відповідності з вимогами ДСТУ. Додаткове визначення мінералогічних та хімічних показників проводилось на базі Краківської гірничо-металургійної академії імені Станіслава Станіша.

Наукова новизна:

1) визначено вплив первинних (сингенетичних) та вторинних (епігенетичних) геологічних процесів на стійкість гірничих масивів досліджених родовищ;

2) встановлено закономірності мінливості мінерального, хімічного складу та фізичних, технічних властивостей руд і гірських порід Первомайського та Ганнівського родовищ і, як наслідок, стійкості бортів кар'єрів;

3) обґрунтовано оптимізаційні принципи структурного оперативного картування родовищ Північного залізорудного району Криворізького басейну з виділенням ділянок різної стійкості гірничих масивів з урахуванням геологічних факторів.

Автор приймав участь в опробуванні продуктивної та вміщуючої товщ Первомайського та Ганнівського родовища, проаналізував літературні джерела та фондові дані щодо сучасних даних про геологічну будову обох родовищ, методик розрахунків коефіцієнтів стійкості гірничих масив з урахуванням впливу геологічних факторів. Здобувачем було проведено макроскопічні та мікроскопічні дослідження матеріалу відібраних проб, виконанні кількісні підрахунки отриманих результатів, в тому числі результати визначення хімічних, фізичних та технічних показників руд. Проаналізовано результати мікрозондового аналізу зерен магнетиту. Автором було проведено геомеханічні дослідження руд та порід обох родовищ, виконана математична обробка отриманих результатів. При вивченні впливу різних геологічних і мінералогічних факторів автором було побудовано карти родовищ та тривимірні моделі, на прикладі Первомайського родовища, з виділенням ділянок різних за стійкістю.

Апробація результатів досліджень була проведена автором на Міжнародних науково-практичних конференціях (Розвиток промисловості та суспільства, Кривий Ріг, 2020; The 16th International Forum for Students and Young Researchers, Dnipro, 2021; The 3rd International Conference on Sustainable Futures: Environmental, Techno-

logical, Social and Economic Matters, Kyiv, 2022; 5th International Scientific and Technical Internet Conference “Innovative development of resource-saving technologies and sustainable use of natural resources”, Petroșani, Romania, 2022) та Всеукраїнських науково-практичних конференціях («Від мінералогії і геогнозії до геохімії, петрології, геології та геофізики: фундаментальні і прикладні тренди XXI століття» (MinGeoIntegration XXI) 2020 та 2022 рр.; Геологічна будова та корисні копалини України, Київ, 2022; Дванадцяті наукові читання імені академіка Євгена Лазаренка, Львів, 2022; Євтеховські читання, Кривий Ріг, 2023 та 2024 рр.).

Практичне значення: Отримані результати є основою для виділення ділянок родовищ Північного залізорудного району Криворізького басейну, у межах яких слід упроваджувати розроблені й обґрунтовані варіанти оперативного, перспективного планування та проведення буровибухових і видобувних робіт.

Загальна структура дисертаційної роботи: анотація, зміст, вступ, п'ять розділів, висновки, літературні джерела та додатки. Обсяг роботи становить 148 стор., кількість рисунків 27, таблиць 12, літературних джерел 84, додатків 4

Дисертаційні дослідження виконувались в рамках наукових тематик (госпдоговірних робіт), а саме: «Дослідження геодинамічного стану породного масиву при-бортових частин Первомайського та Ганнівського кар'єрів ПАО «ПівнГЗК» з метою визначення ділянок можливих аварійних техногенних ситуацій (НДР №551, 2020) (Євтехов та ін., 2020); «Дослідження геомеханічних умов і сейсмічної активності гірничих масивів та розробка ТЗ на спеціалізовану ГІС для Первомайського та Ганнівського кар'єрів ПАТ «ПівнГЗК» - НДР №726, 2019 (Євтехов та ін., 2019), де здобувач є співавтором відповідних звітів.

Розділ 1.

ГЕОЛОГІЧНА ПОЗИЦІЯ ПЕРВОМАЙСЬКОГО ТА ГАННІВСЬКОГО РОДОВИЩ

Адміністративно Первомайське й Ганнівське родовища знаходяться в межах Тернівського району міста Кривого Рогу Дніпропетровської області та відносяться до північної частини Криворізького залізорудного басейну (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Положення Ганнівського і Первомайського кар'єрів (Євтехов та ін., 2020).

Обидва родовища розташовані на горбистій степовій рівнині. Абсолютними відмітками є +105-120 м (Первомайський кар'єр) та +132-150 м (Ганнівський кар'єр). Основний ухил території південно-східний в напрямку ріки Саксагань, прорізана балками Грядкувата та Північна Червона.

Сучасний рельєф даної території налічує наявність діючих кар'єрів, відвалів, хвостосховищ, зон обвалення підземних гірничих робіт та інших техногенних новоутворень.

В межах Первомайського та Ганнівського родовища видобуваються бідні залізні руди Криворізького залізорудного басейну, який знаходиться в центральній частині Українського щита (Середньопридніпровський мегаблок). Залізорудна смуга поділяється на чотири райони: Північний (Ганнівський), Центральний (Саксаганський), Південний і Інгулецький (Лихманівський) (рис. 1.2).

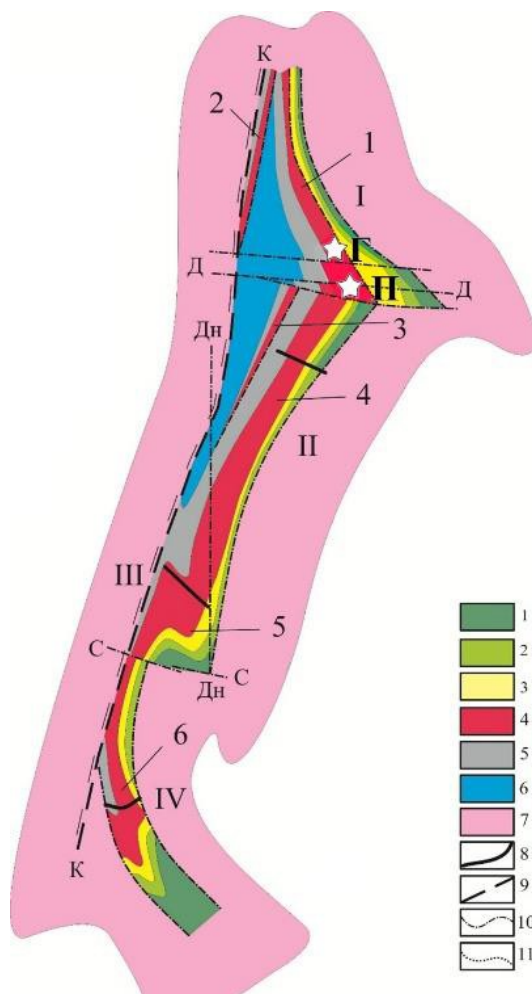


Рис. 1.2. Схематична геологічна карта Криворізької структури (Свтєхов, 1997).

Продовження рис. 1.2.

Метаморфічні утворення. Верхній архей: 1 – конкська серія. Нижній протерозой: 2-5 – криворізька серія: 2 – новокриворізька світа; 3 – скелюватська світа; 4 – саксаганська світа; 5 – гданцівська світа. Середній протерозой: 6 – глеюватська світа. Магматичні утворення: 7 – гранітоїди дніпропетровського комплексу середнього архею; 8 – дайки діабазів неопротерозою.

Інші умовні позначення: 9 – розломи мантійного закладення; 10 – розломи мантійного-корового та корового закладення; 11 – лінії стратиграфічних контактів.

Залізородні райони: I – Північний (Ганнівський); II – Центральний (Саксаганський); III – Південний; IV – Інгулецький (Лихманівський).

Залізородні смуги: 1 – Східно-Ганнівська; 2 – Західно-Ганнівська; 3 – Дальні західні смуги; 4 – Саксаганська; 5 – ділянка замикання Криворізького синклінорію; 6 – Лихманівська.

Розломи: К-К – Криворізько-Кременчуцький; Д-Д – Девладівський; Дн-Дн – Діагональний; С-С – Скелюватська зона розломів.

Зірочками показане положення Первомайського (П). та Ганнівського (Г). родовищ.

На заході родовища обмежені товщею метаморфізованих вулканогенно-кластогенних утворень, які відносять до гданцівської та глеюватської світ (Белєвцев та ін., 1989; Євтехов, 1997); на сході – масивом гранітоїдів дніпропетровського комплексу (Сукач, Курило, Шурко, 2014). В північній частині товща Північного залізородного району має виклинювання в масиві гранітоїдів.

Саме родовища Північного залізородного району відрізняються від інших родовищ Криворізького басейну складністю геологічної будови, в межах товщ проявлений більш високий ступінь динамотермального метаморфізму залізистих порід, значно активний прояв їх деформаційних та метасоматичних змін. Ганнівська структура містить дві залізородні смуги – Східно-Ганнівську (в її межах розташоване Ганнівське родовище) та Західно-Ганнівську. Первомайське родовище знаходиться

поруч з межею Північного та Центрального районів (Богданова, Грицай, Костиков, 1992; ДНВП Геоінформ України, 2016).

1.1. Стратиграфічна схема родовищ

Геологічна будова Первомайського та Ганнівського родовищ містить кристалічні породи архейського та протерозойського віку та рихлі породи кайнозойського осадового чохла (Мечніков, Філенко, 2024; Евтехов, Пирогов, 1976; Тихливець та ін., 2018). За результатами вивчення варіантів стратиграфічних схем, автором дисертаційної роботи було виділено два підходи до стратиграфічної будови Ганнівського родовища. За першою (Белєвцев та ін., 1989), Східно-Ганнівська смуга виділялась як окрема структура. В її межах виділяють нульовий, перший, другий та третій сланцеві горизонти та, відповідно, нульовий, перший, другий і третій залізисті. При цьому, продуктивна товща Ганнівського родовища представлена лежачою пачкою першого залізистого горизонту. Саме така стратиграфічна схема використовується у поточний час на родовищі. Але існує також думка (Карпенко, 2011), що Східно-Ганнівська смуга є продовженням Саксаганської залізородної товщі, де фіксується в північному напрямку виклинювання перших залізистих горизонтів та поява восьмого, дев'ятого, десятого сланцевих та дев'ятого залізистого горизонтів (Карпенко, 2011).

Враховуючи, що автор працював з вихідним теоретичним та фактичним матеріалом, який частково був наданий геологічною службою Ганнівського родовища, при написанні роботи використовувалась діюча на Північному ГЗК стратиграфічна схема родовища.

В фундаменті Криворізької структури знаходяться гранітоїди дніпропетровського комплексу мезоархейського часу. Зверху на останніх залягають амфіболіти, різного складу сланці та силікатні кварцити.

Породи криворізької серії залягають на архейських утвореннях. Їх генеза пов'язана з сингенетичними та епігенетичними геологічними процесами. До перших

відносяться седиментація, діагенез, динамотермальний метаморфізм (Євтехов, Тіхлівець, Демченко, Євтехов, 2020; Євтехов, Тіхлівець, Євтехов, 2020), до других – тектогенез, метасоматоз, шоковий та динамічний метаморфізм, гіпергенез (Євтехов, Тіхліветс, Тіхліветс, Урін, 2022; Євтехова, 2007; Карпенко, 2011; Паранько, 1993).

Розріз криворізької серії включає (знизу догори) товщі новокриворізької, скелюватської, саксаганської, гданцівська та глеюватської світ.

Новокриворізька світа залягає на породах конкської серії із стратиграфічним неузгодженням та представлена амфіболітами, які є продуктом метаморфізації базитів, та сланцями різного складу й мономінеральними, силікатними кварцитами.

Скелюватська світа представлена мусковітовими кварцитами нижньої підсвіти, кварц-мусковітовими сланцями середньої підсвіти та тальк-вмісними сланцями верхньої підсвіти.

Саксаганська світа згідно залягає на скелюватській. Для Первомайського родовища продуктивна товща представлена п'ятим і шостим залізистими горизонтами світи, для Ганнівського – лежачою пачкою першого залізистого горизонту (рис. 1.3, 1.4). В межах Первомайського родовища підстеляючими продуктивну товщу є перший і другий сланцеві та перший і другий залізисті горизонти. В межах Ганнівського – нульовий залізистий і обрамляючі його перший і нульовий сланцеві горизонти. Їх речовинний склад аналогічний для обох родовищ: некондиційні магнетит-силікатні кварцити з малопотужними прошарками магнетит-вмісних гранат-біотит-кварц-кумінгтонітових сланців. Для сланцевих горизонтів підстеляючих товщ цих родовищ характерні верстви гранат-кварц-біотитових, мусковіт-кварц-біотитових, гранат-біотит-кварц-кумінгтонітових і близького до їх складу сланців з проверстками силікатних кварцитів.

Вище за розрізом на продуктивній товщі обох родовищ залягають верстви однорідних за речовинним (мінеральним і хімічним) складом некондиційних магнетит-силікатних кварцитів.

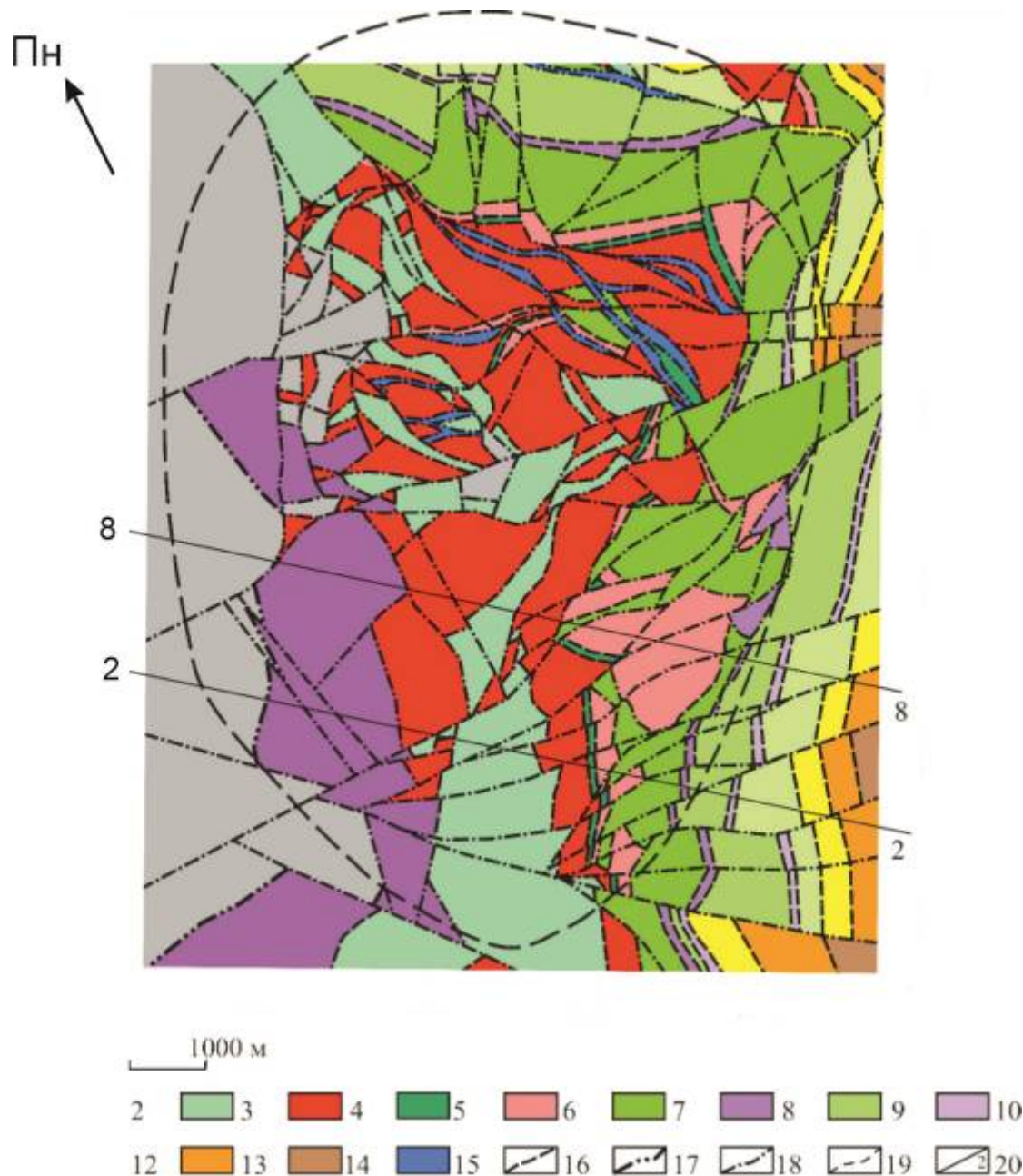


Рис. 1.3. Геологічна карта допалеозойських утворень Первомайського родовища (Євтехов та ін., 2020).

1-15 – криворізька серія: 1 – метакластоліти та доломітові мармури гданцівської світи; 2-11 – саксаганська світа: 2 – магнетит-силікатні кварцити сьомого залізного горизонту; 3 – магнетит-силікатні кварцити та сланці сьомого сланцевого горизонту; 4 – магнетитові руди шостого залізного горизонту; 5 – магнетит-силікатні кварцити та сланці шостого сланцевого горизонту; 6 – магнетитові руди п'ятого залізного горизонту; 7 – сланці та

Продовження рис. 1.3.

силікатні кварцити об'єднаного третього-п'ятого сланцевого горизонту; 8 – магнетит-силікатні кварцити другого залізного горизонту; 9 – сланці та силікатні кварцити другого сланцевого горизонту; 10 – магнетит-силікатні кварцити першого залізного горизонту; 11 – сланці та силікатні кварцити першого сланцевого горизонту; 12-14 – скелюватська світа: 12 – тальк-вмісні сланці верхньої підсвіти; 13 – кварц-мусковітові сланці середньої підсвіти; 14 – мусковітові кварцити нижньої підсвіти; 15 – брекчії змішаного складу; 16 – лінії стратиграфічно згідного залягання товщ; 17 – лінії стратиграфічно незгідного залягання товщ; 18 – розривні порушення; 19 – контур Первомайського кар'єру; 20 – лінії розвідувальних профілів.

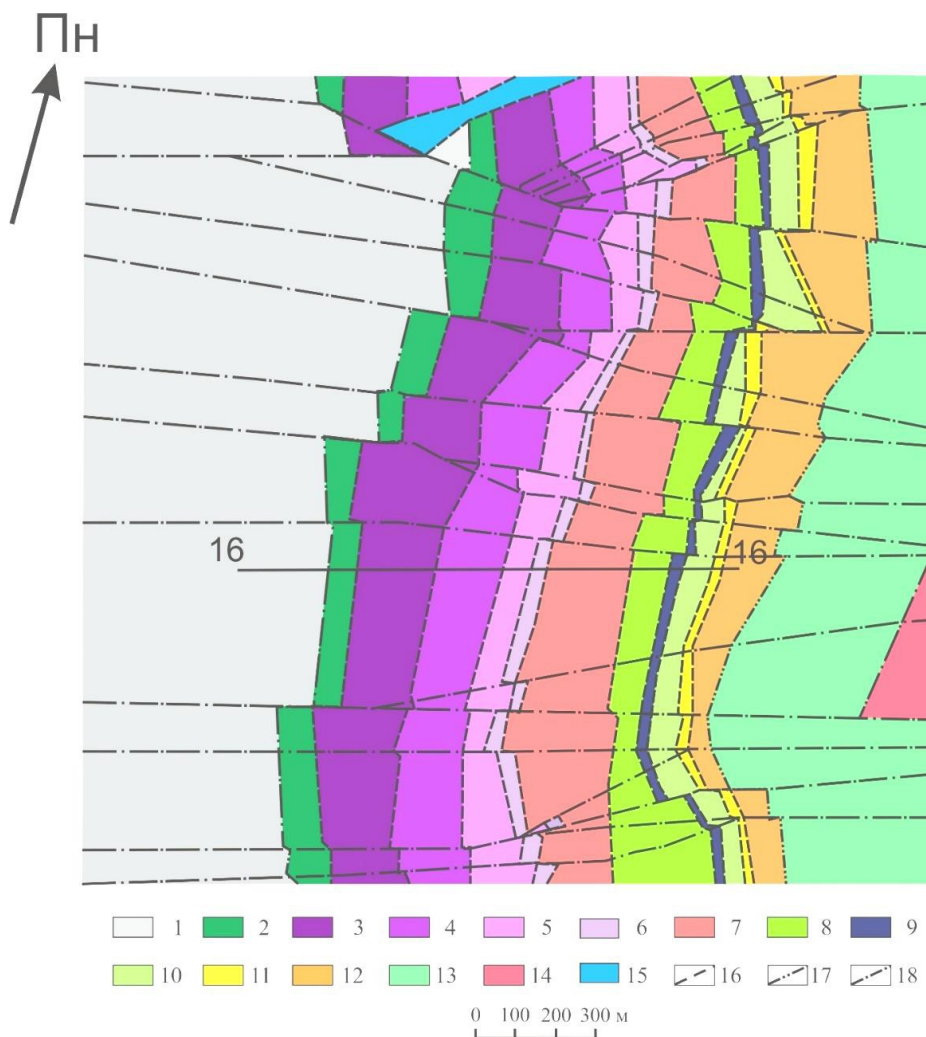


Рис. 1.4. Фрагмент геологічної карти допалеозойських порід центральної частини Ганнівського родовища (Євтехов та ін., 2020).

Продовження рис.1.4.

1 – метакластоліти та доломітові мармури гданцівської світи; 2-9 – саксаганська світа:

2 – магнетит-силікатні кварцити і сланці другого сланцевого горизонту; 3-6 – магнетит-силікатні кварцити висячої пачки першого залізистого горизонту: 3 – четвертої підпачки; 4 – третьої підпачки; 5 – другої підпачки; 6 – першої підпачки; 7 – магнетитові руди лежачої пачки першого залізистого горизонту; 8 – сланці та силікатні кварцити першого сланцевого горизонту; 9 – магнетит-силікатні кварцити нульового залізистого горизонту; 10 – сланці та силікатні кварцити нульового сланцевого горизонту; 11-12 – скелюватська світа: 11 – тальк-вмісні сланці верхньої підсвіти; 12 – кварц-мусковітові сланці та мусковітові кварцити об'єднаних середньої та нижньої підсвіт; 13 – амфіболіти та метакластоліти новокриворізької світи; 14 – гранітоїди дніпропетровського комплексу; 15 – брекчії, катаклазити, мілоніти; 16 – лінії стратиграфічно згідних контактів товщ; 17 – лінії стратиграфічно незгідних контактів товщ; 18 – розривні порушення.

З кутовим неузгодженням на товщу саксаганської світи залягають різного складу сланці, силікатні кварцити, доломітові мармури гданцівської світи (Белевцев та ін., 1989; Євтехов, 1997; Карпенко, 2011; Паранько, 1993; Плотников, 1993). Завершують розріз криворізької серії метаконгломерати, силікатні кварцити, кварц-силікатні сланці глеюватської світи.

Кайнозойські породи представлені пісками, суглинками, глинами, вапняками, мергелем, вторинним каолінами, бурим вугілля, бокситами, марганцевою та перевідкладеною бурозалізняковою рудою, які утворюють верствоподібними, лінзовидними тілами (Євтехов, Кондратьєва, Мальшикіна, Конев, 1995).

Висновок

Стратиграфічна будова Первомайського родовища в межах саксаганської світи відрізняються від схеми Ганнівського родовища, але аналогічно характеризується мінливістю умов утворення, що впливає на стійкість гірничих масивів:

підвищені їх показники характерні для магнетитових кварцитів, більш низькі – для сланців різного складу саксаганської світи; мінімальні значення – для тальк-вмісних сланців скелюватської світи.

1.2. Тектонічна будова родовищ

В межах Первомайського та Ганнівського родовищ найбільш активно проявлені тектонічні процеси. За різними думками, Криворізька структура тектонічно є внутрішньою зоною крайового прогину, який розташований в західному районі Середньопридніпровського мегаблоку Українського щита (Сукач, Курило, Шурко, 2014). За іншими теоріями (Паранько, 1993; Плотников, 1993), залізородна смуга є складовою перикратонного басейну пасивної континентальної окраїни епіархейського мікроконтиненту Середньопридніпровського мегаблоку. Дехто з науковців геологів вважають, що утворення структури є складовою рифтогенезу (Карпенко, 2011). Крім того, існує теорія утворення Криворізької структури в межах зони субдукції, де вздовж неї проходило піднирювання океанічної кори Середньопридніпровського літосферного блоку під Інгульський мікроконтинент (Євтєхова, 2007).

За загальноприйнятою думкою більшості науковців за будовою Криворізька структура є крупним синклінорієм (Белевцев та ін., 1989; Євтєхов, 1997; Хартанович, 1983; Черновский, 1994; Перегудов та ін., 2006; Плотников та ін., 2009). За останні роки результати глибокого буріння надглибокої свердловини, геофізичних досліджень, сформувавши гіпотезу щодо моноклінальної будови Криворізької залізородної структури (Паранько, 1993).

Товщі метаморфічних порід зім'яті в повздовжні чотири синклінальні та одну антиклінальну (Тарапако-Лихманівську) складки (рис. 1.5). Синкліналі розташовані в напрямку з півночі на південь – 1) Ганнівська; 2) Саксаганська; 3) складка замикання Основного Криворізького синклінорію; 4) Лихманівська.

Ганнівська складка має ширину від 15 км (у південній частині) до 1 км (у північній), глибина залягання шарніру складає 5 км. Ядро синклінали представлено потужними верствами кварц-силікатних сланців, силікатних кварцитів гданцівської та глеюватської світ. Крила – верствами амфіболітів (метабазитів) і кварц-силікатних сланців, силікатних кварцитів (метакластолітів) новокриворізької світи. У напрямку до шарніру вони змінюються верствами мусковітових кварцитів, кварц-мусковітових сланців і тальк-вмісних сланців скелюватської світи. В межах східного крила синклінали породи саксаганської світи мають значну потужність, де виділяється Східно-Ганнівська залізородна смуга, в межах якої розташоване Ганнівське родовище. Західне крило синклінали – малопотужне та розбите розривними порушеннями. В його межах виділяють Західно-Ганнівську залізородну смугу (*Мечніков, Філенко, 2024; Паранько, 1993*)

На контакті Північного та Саксаганського залізородних районів у зоні перетину Криворізько-Кременчуцького та Девладівського глибинних розломів розташоване Первомайське родовище (*Євтєхов, 1997*). Таке розміщення обумовило складність його тектонічної будови. Центральна й північна частини родовища мають блокову будову, різну орієнтацію верств, значну кількість тектонітів: брекчій, катаклазитів, мілонітів.

Різнорієнтаційне положення верств залізистих порід в межах Первомайського родовища з тектонічної точки зору є цікавим феноменом. Простягання верств змінюється від північно-східного (азимут 30-35°) до північно-західного (азимут 290-300°). При цьому кут повороту становить близько 90°. Дослідниками (*Євтєхов, 1997*) було припущено, що на лінійну структуру Криворізького басейну вплинула поперечна деформація і утворився флексурний вигин. В результаті чого були закладені чисельні поздовжні і поперечні розривні порушення в межах суцільної товщі гірських порід. Як наслідок, це провокувало утворення блокових структур розміром понад 1 км з різним орієнтуванням та суттєвим зміщенням від вихідного положення (*Хартанович, 1983; Черновський, 1994*).

Але, існує інша думка, (*Бєлєвцев та ін., 1989*), за якою територію Первомайського родовища вважають відносно піднятою глибинною частиною

Криворізької структури, де активно розвинуті складчасті крутопадаючі утворення. Останні ускладненні поперечними розривними порушеннями, зонами зминання та брекчіювання. Як наслідок, утворення складної блокової будови окремих ділянок. І саме такий прояв тектогенезу, на думку дослідників, обумовив прояв магматичних, метаморфічних, метасоматичних процесів у порівнянні з товщею Саксаганського залізородного району.

Проте, така теорія йде супроти ідеї про синклінальне походження структури Первомайського родовища, так як основним стає формування розривних порушень. А складкоутворення розглядається як вторинний процес – результат переміщення блоків по розривним порушенням або зминання верств гірських порід у їх зонах розломів (Євтехов та ін., 2020).

Ще одним напрямком вивчення тектонічної структури Первомайського родовища є космогенна теорія її утворення, авторами якої є О.П.Нікольский, А.А.Вальтер та ін. (Evtekhov et al, 2022; Євтехова, 2007; Карпенко, 2011). За нею пропонується розглядати складність тектонічної будови родовища, як результат потужного вибуху при падінні крупного метеориту, який за віком відповідає девону.

За результатами проведеного раніше геолого-мінералогічного картування обох родовищ (Плотников, 1994; Плотников, 1993; Пирогов та ін., 1976), дослідниками В.Д.Євтеховим, Б.І.Піроговим та ін. було визначено чотири основні фази утворення розривних порушень.

До першої фази відноситься формування субширотних розривних порушень, які проявлені утворенням січних тріщин розміром до 40-50 м за довжиною та 30-50 см за потужністю. Найбільш активно вони проявлені в залізистих горизонтах або в зоні перетину залізистих і сланцевих горизонтів. У першому варіанті по тріщинах утворювались альпійські жили різного складу: кварцового, залізнослюдко-кварцового, карбонат-кварцового з піритом, кумінгтоніт-кварцового (Євтехова, 2007). В другому – по тріщинах та зонах брекчіювання відбувалась фільтрація розчинів, які утворились за рахунок процесів динамотермального метаморфізму залізистих кварцитів і сланців.

Другою фазою науковці вважають утворення розривних порушень, які неузгоджені з верстуватістю товщі та мають довжину понад 1 км і потужність до 60-70 м. Частина з них виконувала функцію каналів для міграції лужних (вуглекисло-натрієвого складу) розчинів. В межах таких тектонічних зон масиви залізистих порід мають прояв метасоматичних процесів, а саме утворення егірин- і рибекіт-вмісних порід. Сланцеві горизонти при впливі метасоматозу мають хлорит-карбонат-альбітовий склад (альбітити). У зв'язку з активним проявом метасоматозу межі таких розломів розмиті фіксуються як субзгідні зони метасоматично змінених брекчій або жило- та лінзоподібних тіл.

Третю фазу виділяють як постметасоматичну, коли утворились січні розривні порушення. Вони проявлені тріщинами або зонами брекчіювання, потужність яких становить до 60 м, а протяжність понад 1 км. Для них типові численні відгалуження та роздуви. Склад утворених брекчій монопетрологічний (залізисті кварцити; метасоматити; сланці різного складу) або поліпетрологічний (змішаний). Процеси мінералізації в зонах деформацій цієї фази не фіксуються.

Наймолодші січні тріщини утворились в четверту фазу, де розмір їх становить – до 30 м за потужністю та понад 500 м за протяжністю. Матеріал в зонах розривних порушень четвертої фази практично не підлягав мінералізації.

В.Д.Євтеховим (*Євтехов та ін, 1976; Евтехов, Салтан, Мальшикіна, Евтехов, 1993*) було висунуто припущення, що формування розривних порушень в першу та четверту фази зв'язано з активізацією субширотного Девладівського глибинного розлому та утворенням опіряючих його розломів. А утворення розломів другої та третьої фаз - є наслідком активізації субмеридіонального Криворізько-Кременчуцького глибинного розлому.

Сучасні результати експлуатаційної розвідки Первомайського та Ганнівського родовищ підтверджують знання про їх складну тектонічну блокову будову, яка є результатом прояву значної кількості різноорієнтованих розривних порушень.

Для структури Первомайського родовища характерні згідні та поздовжні (субмеридіональні) й січні та поперечні (діагональні) розривні порушення, а для Ганнівського родовища – субширотні розломи.

Складчасті утворення представлені плікативними (зони зминання, складки волочіння) формами, але їх кількість не значна в межах обох родовищ.

При мінералогічному вивчення залізистих порід були зафіксовані дрібні деформаційні порушення, а саме тріщини окремоті, кліваж сколювання, тріщини розшарування, розлінзування кварцових прошарків (розділ 4), мікроскладчастість.

Висновок

За результатами вивчення відомостей про тектонічну будову Первомайського й Ганнівського родовищ, виявлено, що в їх межах активно проявлені диз'юнктивні (розривні) порушення. Плікативні (пластичні) фіксуються значно рідше, тільки у вигляді складок зминання та волочіння в крупних тектонічних блоках. Крім того, вздовж розломів активно поширений процес динамометаморфізму – формування зон тріщинуватості, брекчіювання, катаклазування, мілонітизації, що суттєво впливає на ступінь механічної стійкості гірничих масивів.

1.3. Метасоматичні процеси

В межах обох родовищ проявлені метасоматичні процеси, але з різною інтенсивністю. В продуктивній товщі Первомайського родовища активніше, Ганнівського родовища – слабкіше. Перетворення руд та вміщуючих порід відбувалось під впливом саме вуглекисло-натрієвого метасоматозу з утворенням егіринових та рибекітових метасоматичних різновидів залізистих кварцитів під дією вуглекисло-натрієвих гідротермальних розчинів (Євтєхов та ін., 2020; Євтєхов, 2007; Карпенко, 2011; Пирогов та ін, 1980). При цьому відбувалась зміна мінерального, хімічного складу первинних метаморфічних порід і руд та їх структурно-текстурні риси. Новоутворені метасоматити стали зміцнюючим фактором інтенсивно тріщинуватих вихідних метаморфічних порід.

Утворення товщ скелюватської, гданцівської та глеюватської світ, що підстеляють чи перекривають товщу саксаганської світи, значно слабкіше зазнали метасоматичних змін.

Висновок

Метасоматоз вплинув на зміну міцнісних властивостей залізистих та вміщуючих порід – в напрямку збільшення їх міцнісних властивостей.

1.4. Процеси вивітрювання

Відомо, що гіпергенні процеси у товщі залізисто-кремнистої та вміщуючих їх формацій Первомайського та Ганнівського родовищ проходили декілька разів. Причина в перервах осадконакопичення залізорудної та вмісних товщ. (*Белевцев та ін., 1989; Євтехов, 1997; Карпенко, 2011; Пирогов та ін., 1980; Євтехов та ін., 2020*). Глибина поширення кори вивітрювання руд і порід обох родовищ незначна й коливається від 15 до 150 м, в межах Ганнівського родовища це показник сягає 200 м. У порівнянні з іншими залізорудними родовища Кривбасу це набагато менше. Наприклад, в межах Саксаганського залізорудного району кора вивітрювання має потужність понад 2500 м. Причина малопотужності гіпергенних утворень в значній швидкості висхідного руху тектонічного блоку, де знаходяться родовища, що призвело до інтенсивного розмиву кори вивітрювання й суттєвого зменшення її потужності.

Процеси вивітрювання, які пов'язані з руйнуванням будови вихідних мінералів, заміщенням їх дисперсними агрегатами новоутворених гіпергенних мінералів, як наслідок, збільшення пористості руд і порід, призвело до зниження міцності та механічної стійкості гірничих масивів.

Висновок

Процеси вивітрювання, які пов'язані з руйнуванням будови вихідних мінералів, заміщенням їх дисперсними агрегатами новоутворених гіпергенних мінералів, як наслідок, збільшення пористості руд і порід, що веде до зниження їх міцності та механічної стійкості гірничих масивів.

Розділ 2. АНАЛІЗ РАНІШЕ ВИКОНАНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Питання впливу геологічних факторів на стійкість гірничих масивів Первомайського та Ганнівського родовищ вивчалось з часів залучення їх до експлуатації – з початку 60-х років ХХ ст. різними фахівцями Криворізького національного університету (КНУ), Національного гірничого університету (НГУ, м. Дніпро), Інституту геотехнічної механіки ім. Н.С.Полякова НАН України (ІГТМ, м. Дніпро), Науково-дослідного гірничорудного інституту (НДГРІ, м. Кривий Ріг) (*Губин та ін., 1993; ДніпроГІНТІЗ, 2004; Укрґіроруда, 2008; Южґіроруда, 2016; Южґіроруда, 2008*).

Геолого-структурне картування родовищ Криворізького басейну активно проводилось в 60-90-х роках ХХ-го століття. Такі роботи завжди супроводжувались вивченням речовинного складу та властивостей руд і порід геологічних об'єктів. Головний внесок в картуванні всіх родовищ Кривбасу, в тому числі Північного району, був зроблений фахівцями Криворізького гірничорудного інституту (КГРІ) під керівництвом М.І.Черновського та Е.В.Дмитрієва (*Черновський, Плотников, 1994*). Дослідження стійкості гірничих масивів є актуальним не тільки для кар'єрів, а й для підземних методів видобування гірничих мас (*More O'FERRALL G.C., Plessis M du. 2017*), де зсуви й обвали (*Шевчук, Лавренюк, Кравченко, 2013*) в декілька разів перевищують небезпечність для робітників.

Питання стійкості бортів кар'єрів вирішувалось через визначення кутів відкосів. Так за «Проектом розкриття нижніх горизонтів Первомайського кар'єру для підтримки потужності комбінату» (1982 р.) була запропонована технологія гірничодобувних робіт при оптимальних кутах стійкості бортів кар'єру, а саме для лежачого боку продуктивної товщі 36° ; для висячого боку 38° (*СОУ-Н МПП, 2007*). Тоді висо-

та уступів кар'єру була зафіксована в 13 м для всіх уступів вище горизонту +5 м та 15 м на всіх горизонтах нижче +5 м (Євтехов та ін., 2019).

Дослідження інженерно-геологічних умов Ганнівського родовища з подальшим прогнозом умов стійкості бортів кар'єру проводились Криворізьким опорним пунктом інституту ВНДМІ, Криворізьким відділення інституту ВІОГЕМ, Науково-дослідним гірничорудним інститутом (НДГРІ, м. Кривий Ріг), НТФ «НОВОТЕК-2» (м. Харків), ГНПП «МЕГГІ» (м. Кривий Ріг) під науковим керівництвом Ю.М.Николашина, В.В.Шепелева та ін., Ф.К.Толкачова (НДГРІ), В.М.Можжерина (ВНДМІ) (Євтехов та ін., 2019; Укрзінроруда, 2008; Інститут геотехнічної механіки НАН України (ІГМ), 2008; Южзінроруда, 2016; Южзінроруда, 2008; Николашин, 2016; Николашин, 1988).

Не менш важливим питанням було вивчення гідрогеологічних особливостей гірничих масивів, а також розробок заходів щодо боротьби з негативними наслідками впливу підземних вод в межах обох родовищ. Цим займались фахівці Інституту ВІОГЕМ («НОВОТЕК-2»), під керівництвом С.З.Полищука, Ю.С.Осипенка, В.В.Жданова (Жданова, 2015; Осипенко, 2011; Полищук, 2004).

Дослідження фізичних властивостей руд і гірських порід, які впливають на стійкість гірничих масивів, проводились на основі вивчення матеріалу кернових і штуфних проб різними спеціалізованими науково-дослідними організаціями (ВІОГЕМ, ВНДМІ, НДГРІ та ін.) (Николашин, 1975; Николашин, 1982; Николашин, 1988; Николашин, 2016). Одним з напрямків їх роботи було вивчення причин утворення зон тріщинуватості, брекчіювання, метасоматичних змін та обводнення в межах родовищ.

З результатами проведених досліджень, отриманими висновки та рекомендаціями, які спрямовані на підвищення стійкості гірничих масивів Ганнівського та Первомайського родовищ, можна ознайомитись у відповідних звітах (Николашин, 1975; Николашин, 1982; Николашин, 1988; Николашин, 2016; Полищук, 2004; Шепелева, 1995).

Одним з основних недоліків раніше проведених робіт це відсутність комплексного підходу до вирішення цього питання. Акцент авторами робиться на дос-

лідженні технічних характеристик гірничих масивів без урахування геологічної будови продуктивної та вміщуючих товщ родовищ (Pykhteeva, Andreeva, Koltsov, 2023).

Основною методикою, з точки зору проведення гірничих робіт, визначення стійкості гірничих масивів є визначення коефіцієнту запасу стійкості відкосів. Оцінка цього показника виконувалась нормативним геомеханічним методом розрахунку багатокутника сил (векторного складання сил) (ІППЕ НАН України, 2009). При цьому використовується основна формула коефіцієнта запасу стійкості $\eta_p = \sum F_{yt} / \sum F_{zs}$, де оцінюються суми утримуючих та зсувних сил, що діють на розрахунковій поверхні ковзання.

В роботі Бардакова та Рип'як (Бардаков, Рип'як, 2022) порівнювались різні методи визначення коефіцієнту запасу стійкості бортів, на прикладі родовищ Полтавського ГЗК, а саме метод круглоциліндричної поверхні ковзання, метод Бішопа, Метод Спенсера, метод Моргенштерна-Прайса та метод Феленіуса-Петерсона за допомогою програмних забезпечень Slide 2, Rocscience. Доведено, що перший й останній з цих методів дають найбільшу похибку, при цьому інші показали різницю в результатах в 0,01.

Оцінка зменшення міцності масиву гірських порід оцінювали дослідники через загальний коефіцієнт структурного ослаблення λ_n , яким відображається вплив окремих факторів на стійкість відкосів (ІППЕ НАН України, 2009; СОУ-Н МПП, 2007). Фахівцями гірничої справи рекомендовано використовувати як нормативний коефіцієнт запасу стійкості для робочих бортів – 1,20 до 1,25, робочих уступів – 1,10-1,15 (ІППЕ НАН України, 2009; СОУ-Н МПП, 2007).

Не менш важливою характеристикою для оцінки поточної стійкості бортів є геологічні умови залягання, в залежності від яких використовують необхідну методику розрахунків схеми стійкості гірничих масивів (Николашин, 2016а; Николашин, 2016б). Приклади розрахункових схем наведені на рис. 2.1.

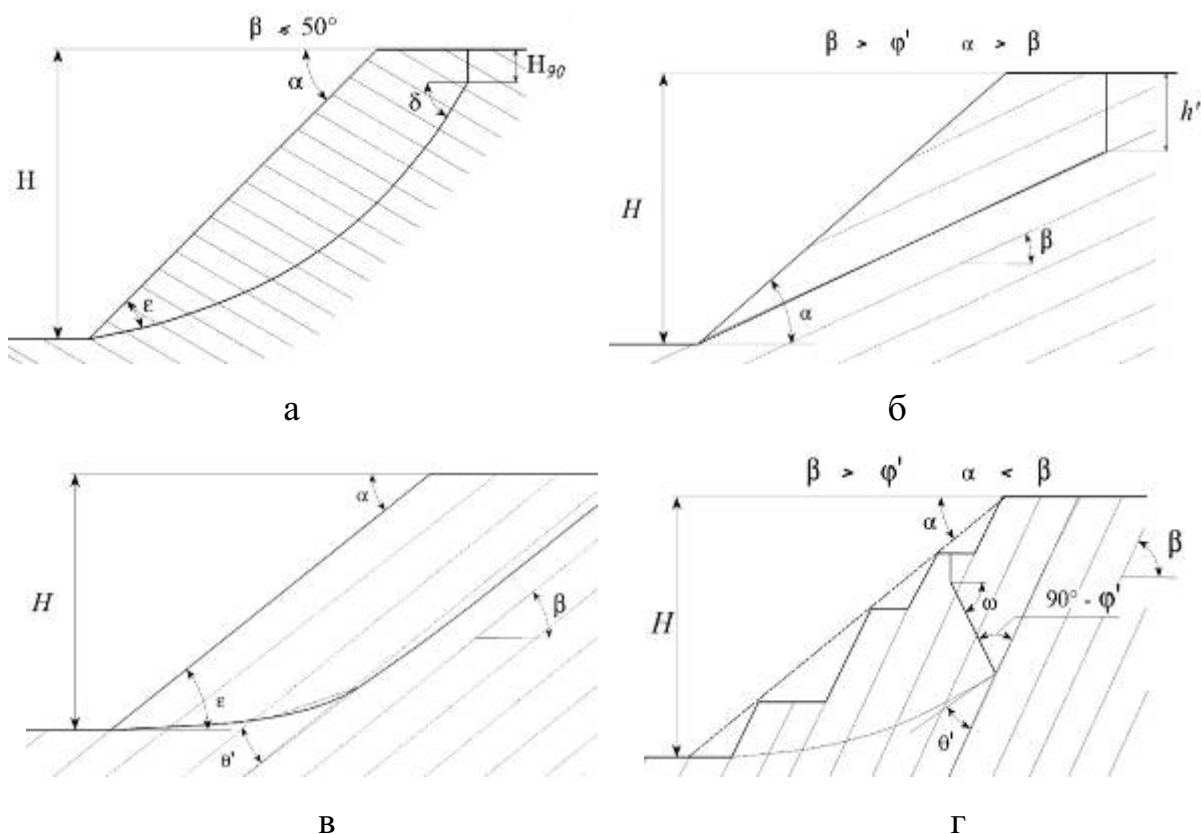


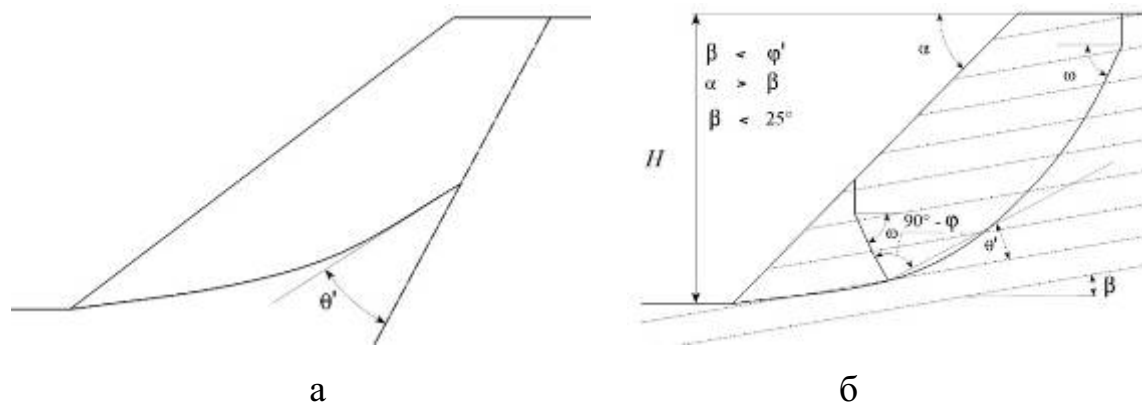
Рис. 2.1. Розрахункова схема стійкості відкосів уступів і нахилу бортів кар'єру за умови (Николашин, 2016а; Николашин, 2016б).

а – верстуватості товща з похилим незгідним заляганням верств з нахилом борту $\beta < 50^\circ$;

б – поверхня ковзання повністю співпадає з поверхнями ослаблення масиву, які є похилими і згідно залягають з відкосом поверхні ослаблення.

в – якщо поверхня ковзання частково співпадає з поверхнею ослаблення і уступ, завідкошений за верстуватістю $\beta > \phi$; $\alpha = \beta$;

г – похиле та круте згідне з відкосом залягання верств $\alpha < \beta < 70^\circ$; $\beta > \phi$.



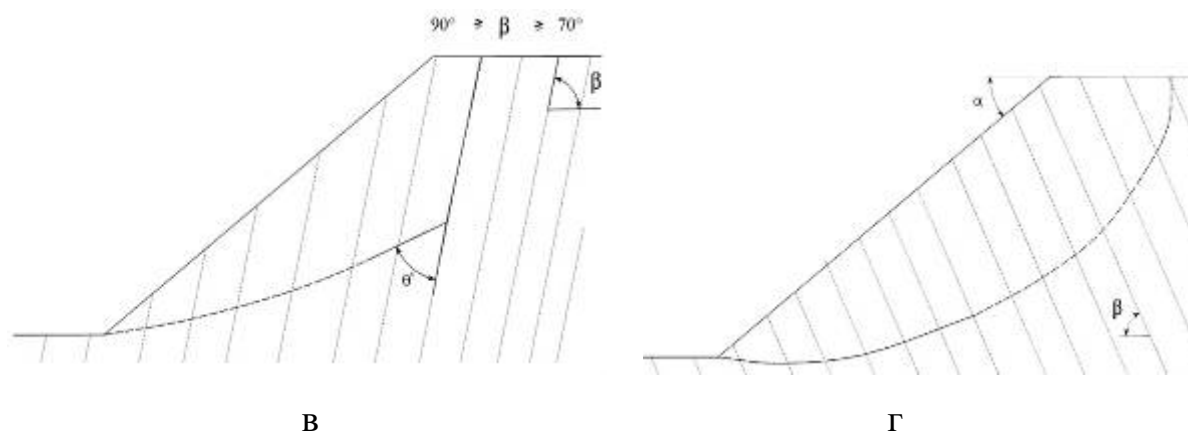


Рис. 2.2. Розрахункова схема стійкості відкосів уступів і нахилу бортів кар'єру за умови (Николашин, 2016а; Николашин, 2016б):

а – згідного залягання тектонічних порушень з нахилом борту кар'єру;

б – пологого залягання природних поверхонь ослаблення масиву при $\beta < \phi$, $\beta < 25^\circ$, $\alpha > \beta$.

в – круте згідне з нахилом борту залягання верств $90^\circ > \beta > 70^\circ$.

г – незгідне з нахилом борту залягання верств $50^\circ < \beta < 90^\circ$.

Питання стійкості бортів та уступів кар'єрів є завжди актуальним, останнім часом вплив на неї різних геологічних факторів (речовинного складу порід, їх фізичних властивостей, сейсмічності, водонасиченості масивів тощо) стає гострішим. Сучасний розвиток ГІС технологій спонукає до використання програмних продуктів для вирішення цього питання (Хоменко, Барановский, 2008). Наприклад, робота В.В.Рибіна та ін. (Євтехов, 2019) присвячена розробці програмного комплексу оцінки стійкості бортів кар'єрів з урахуванням гравітаційно-тектонічного поля напруги. Авторами пропонується при оцінці стійкості бортів порівнювати сили зсуву з силами утримання на гранях розрахункового блоку, базуючись на нормативно заданому коефіцієнті запасу стійкості. Тому, автори в програмному комплексі для визначення коефіцієнту стійкості бортів кар'єру використовують показники спільної дії власної маси породи та горизонтальних сил тектонічних процесів. Крім того, стабільність схилів через вивчення стійкості гірничих масивів досліджується різними методами, наприклад в роботі Кастанова та Берова (Krastanov, Berov, 2021) описується методи-

ка Fellenius для аналізу стійкості схилів через вплив деформаційних процесів.

Провідним фахівцем вивчення питань стійкості гірничих масивів в Криворізькому басейну був Ю.М.Николашин. Під його керівництвом в цьому напрямку Науково-виробничим підприємством (НВП) «КривбасАкадемІнвест» проводились роботи (Николашин, 2016а; Николашин, 2016б; Хоменко, Барановский, 2008), в яких при розрахунках коефіцієнтів стійкості враховувались тільки фізичні властивості гірських порід, що не забезпечувало усестороннього аналізу впливу геологічних факторів на стійкість гірничих масивів. В розроблених моделях у якості постійних показників використовувались показники внутрішнього тертя, щільності руд і порід та зчеплення в зразках. При побудові блоків через метод алгебраїчного складання сил, який був запропонований авторами (Николашин, 2016а; Николашин, 2016б; Хоменко, Барановский, 2008), розрахунок коефіцієнтів запасів стійкості виділених блоків не враховує варіативність їх будови, а саме мінерального складу.

За результатами проведених робіт (Николашин, 2016а; Николашин, 2016б; Хоменко, Барановский, 2008), НВП «КривбасАкадемІнвест» для Первомайського та Ганнівського кар'єрів було розроблено геомеханічні моделі стану стійкості бортів кар'єрів у проектних контурах відпрацювання родовищ. На базі цих моделей виконувались геомеханічні розрахунки, на базі яких відбувалось складались карти розподілу коефіцієнтів запасу стійкості груп робочих уступів обох родовищ (проекту контуру гірничих робіт на 01.01.2020 р. та по проекту на кінець відпрацювання). На сьогодні поточна інформація щодо відпрацьованих блоків з урахуванням геодинамічної ситуації є закритою, у зв'язку з воєнними діями на території України.

Така ж проблема стоїть не тільки перед підприємствами Криворізького залізничного басейну. Проблема стійкості гірничих масивів є актуальною для всього світу, де видобуваються руди та гірські породи відкритим та підземним шляхом. Для вирішення цих питань науковці використовують різноманітні методики (Viana et al, 2019; Ozhygin et al, 2021). Сучасний розвиток ГІС технологій дозволяє використовувати різноманітні програмні продукти світових брендів (Booth & Meyer, 2013; Kovanič, M.Sc., Bliš'an, 2014; Saadoun, Hafsaoui, Khadri, Fredj, Boukarm, Nakache, 2019). Так, з використанням програмного забезпечення Slide, Flac and Plaxis науков-

цями (*Aitkazinova, 2022*) було аналізовано фактори впливу ковзання тріщинуватих порід на стійкість бортів кар'єрів. Крім того, використовуються математичне моделювання для контролю стійкості бортів. Так в роботі (*Балута, Борисенко, 1972*) пропонують через моделювання ділянок підвищеної тріщинуватості прогнозувати стійкість бортів кар'єрів. 3D моделювання активно використовується для моніторингу стійкості гірничих масивів на різних підприємствах світу (*Євтехов та ін., 2019; Перегудов та ін., 2006; Шепелева, 1995*).

Комплексне вивчення впливу всіх геологічних процесів, що обумовили формування залізородної товщі Криворізького басейну, в тому числі виділення ділянок різної стійкості з урахуванням вище сказаного, не проводилось.

Виділення окремих більш детальних питань, які були висвітлені в попередніх роботах, наведено у відповідних розділах даної дисертаційної роботи.

Розділ 3.

ВИХІДНИЙ МАТЕРІАЛ І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

При написанні дисертаційної роботи автор аналізував відомі літературні та фондові дані про геологічну будову Первомайського та Ганнівського родовищ, геологічні процеси, які обумовили їх сучасний склад та властивості руд і порід,

При участі в науково-дослідній госпдоговірній тематиці (Євтехов та ін., 2019; Євтехов та ін., 2020), автор брав участь у прокладанні геологічних маршрутів у забоях обох кар'єрів, у відборі проб, у фіксації умов залягання рудних покладів і тіл вміщуючих порід. Ним проводився макроскопічний опис відібраних проб, фотографування та графічна фіксація точок відбору проб.

Основний об'єм досліджень автор проводив в лабораторіях Криворізького національного університету за результатами польових робіт, відбору в забоях обох кар'єрів проб. Види та об'єми робіт, проведених автором наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Види і об'єми виконаних робіт

№ п/п	Види робіт	Об'єми
1.	Відбір проб для проведення мінералогічних досліджень: Первомайське родовище Ганнівське родовище	147 проб 135 проб
2.	Макроскопічний опис матеріалу відібраних проб з розділенням у відповідності до мінералогічної класифікації залізистих кварцитів і сланців	282 проби

3.	Виготовлення прозорих і полірованих шліфів первинних та вторинно-зміненних кварцитів	564 препарати
4.	Мікроскопічні дослідження мінерального складу, структури і текстури залізистих кварцитів і сланців	564 препарати
5.	Виконання фазового аналізу заліза кожної проби	564 аналізи
6.	Проведення мікрозондового аналізу магнетиту з продуктивної товщі Ганнівського родовища з визначенням хімічного аналізу	6 уколів
7.	Визначення фізичних та технічних параметрів (густина, об'ємна маса, пористість, міцність) руд та вміщуючих порід обох родовищ (по 3 проби з кожного різновиду порід)	90 проб
8.	Визначення коефіцієнту міцності за шкалою М.М.Протод'яконова для обох родовищ	57 проб
9.	Мікрофотографування прозорих і полірованих шліфів	235 фотографій
10.	Статистична обробка результатів мінералогічних, фізичних, технічних показників руд і порід	
11.	Побудова 3D моделей стійкості гірничих масивів з урахуванням впливу різних геологічних процесів	6
12.	Збір, узагальнення і аналіз даних за темою дисертаційної роботи в періодичних і монографічних джерелах	72 джерел
13.	Збір, узагальнення і аналіз фондових даних	12 джерел

В забоях Ганнівського кар'єру було відібрано 135 проб з продуктивної та вміщуючих товщ, Первомайського – 147 проб. Опробування виконувалось точковим методом з GPS прив'язкою. Проби були розділені у відповідності з мінералогічною

варіативністю продуктивної та вміщуючих товщ. Опробування проводилось із представниками геологічної служби Північного гірничозбагачувального комбінату.

Макроскопічний опис всіх проб був проведений при опробуванні з уточненням під час камеральних робіт. З матеріалу усіх проб було виготовлено прозорі та поліровані шліфи. Кількість визначень мінерального складу кожного різновиду руд та вміщуючих порід з окремого родовища склала 25, сумарна кількість визначень становила 200-250, в залежності від кількості різновидів в межах кожного горизонту.

Мікроскопічний опис проводився за стандартною методикою з використанням мікроскопів ПОЛАМ, Nikon SMZ1270, бінокляром Nikon Optiphot, Мікрофотографування виконувалось фотоапаратом марки Olympus E-500, відеоокуляром DeltaPix та DS-Ri1. Всього зроблено 356 фотографій. Обробка фотографій виконувалась за допомогою програмного забезпечення DeltaPix InSight.

Визначення хімічного складу руд та гірських порід визначався за стандартною методикою шляхом скороченого фазового хімічного аналізу з визначенням вмісту $Fe_{заг.}$ і $Fe_{магн.}$, який проводився в сертифікованій лабораторії за вимогами ДСТУ. Підготовка матеріалу проб, а саме препарування (висушування, зважування, відбір наважок) для проведення хімічних фазових аналізів проводилось за участю дисертанта.

Мікрозондовий аналіз зерен магнетиту проводився в лабораторії Краківської гірничо-металургійної академії імені Станіслава Станіша (AGH University of Science and Technology, м. Краків, Польща) за допомогою мікрозондового мікроскопу Version 1 Compro досліджувались за стандартною методикою. Кількість уколів становить до 5 на кожному зерні.

Визначення фізичних та технічних показників руд і гірських порід проводилось за стандартними методиками в спеціалізованих лабораторіях. Використовувались по три наважки масою руд і порід усіх виділених мінеральних різновидів Первомайського та Ганнівського родовищ. Їх компоновка була на базі відібраних проб масою по 3 кг, які були об'єднані та усереднені, після чого методом дев'яти точок були скомпоновані. Відповідно кожній наважці були присвоєні індекси від Прв-2231 до Прв-2272 для Первомайського родовища та від Анн-2226 до Анн-2270 –

для Ганнівського (додаток Б). Підготовка матеріалу проб для проведенням досліджень фізичних властивостей руд і порід виконувалась за участі автора дисертації.

Отримані в результаті досліджень дані були узагальнені та проаналізовані за допомогою стандартних комп'ютерних програм. Кількісні розрахунки проводились з використанням Excel Microsoft.

Побудова моделей стійкості з урахуванням впливу різних геологічних факторів виконувались автором на основі геологічних каркасів та 3D моделей Первомайського родовища з використанням програмного забезпечення K-MINE. Двомірне зображення з схематичним виділенням ділянок з різною стійкістю гірничих масивів будувалось на основі геологічних карт Первомайського та Ганнівського родовища, які були надані геологічними службами Північного гірничо-збагачувального комбінату за госпдоговірною тематикою (Євтехов та ін., 2019; Євтехов та ін., 2020).

При написанні дисертаційної роботи автором було опрацьовано та проаналізовано 36 літературних джерел, 37 фондів даних, 25 інтернет джерел, і яких містились дані про геологічну будову обох родовищ, умови формування продуктивних та вміщуючих товщ, інформація про методики виділення сейсмічно нестабільних ділянок в межах родовищ, про загальну геодинамічну ситуацію родовищ.

Розділ 4.

ВПЛИВ ПРИРОДНИХ ФАКТОРІВ НА СТІЙКІСТЬ ГІРНИЧИХ МАСИВІВ

4.1. Мінералогічний фактор

4.1.1. Сингенетичні мінерали продуктивної товщі

Основні геодинамічні показники гірничих масивів обумовлені мінеральним складом, структурою, текстурою руд та порід. Це підтверджується отриманими раніше результатами досліджень, співавтором яких був автор дисертаційної роботи (Євтехов та ін., 2019; Євтехов та ін., 2020). Серед головних властивостей мінералів, що на пряму впливають на стійкість гірських порід, є твердість за шкалою Ф.Мооса та спайність.

Мінералогічні дослідження автором виконувались на фактичному матеріалі, представленому відібраними пробами на уступах кар'єрів ПівнГЗКу, а також дублікатами проб з фондів Криворізького національного університету. Останні відбирались в кар'єрах комбінату при виконанні науково-дослідницьких робіт у 2018 та 2019 рр. (Євтехов та ін., 2018а, Євтехов та ін., 2018б).

За результатами вивчення мінерального складу матеріалу всіх проб були виділені генетичні (сингенетичні й епігенетичні) види та мінералогічні різновиди руд і порід саксаганської, скелюватської, гданцівської світ.

Сингенетичні види руд видобуваються в продуктивних товщах обох родовищ на рівні нижніх гіпсометричних горизонтів їх відпрацювання. Положення мінеральних різновидів залізистих кварцитів розташовано аналогічно як в Первомайському, так і Ганнівському родовищах та відповідає за будовою аутигенно-метаморфогенній мінералого-геохімічній зональності залізистих горизонтів (Євтехов, Тіхлівець, Євтехов, 2020; Євтехов, Тіхлівець, Демченко, Євтехов, 2020; Євтехова, 2007; Карпен-

ко, 2011; Евтехо, Салтан, Малишкіна, Евтехов, 1993; Евтехов та ін., 2019; Tikhlivets, Evtekhov, Tikhlivets, Holiver, 2021). Зміна видів в напрямку від центру до обох периферійних частин продуктивних товщ має такий вигляд: кварцити магнетит-залізнослюдкові → кварцити залізнослюдко-магнетитові → кварцити магнетитові (червоно-, сірошаруваті) → кварцити кумінгтоніт-магнетитові → кварцити магнетит-кумінгтонітові (уя рис. 3.1. наведено приклад зональності продуктивних залізистих горизонтів Первомайського родовища.

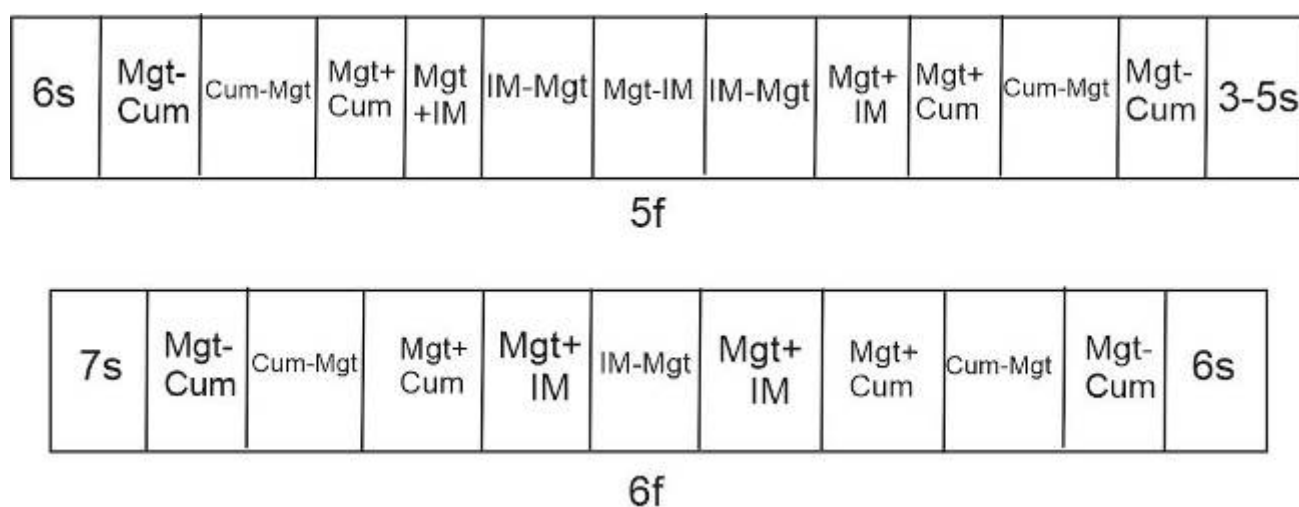


Рис. 4.1. Схематична будова мінералогічної зональності продуктивної товщі Первомайського родовища.

Мінеральні різновиди залізистих кварцитів: 3 – магнетит-залізнослюдкові; 4 – залізнослюдко-магнетитові; 5 – магнетитові червоношаруваті (залізнослюдковмісні); 6 – магнетитові червоношаруваті (бімінеральні магнетит-кварцові, без силікатів і залізної слюдки); 7 – магнетитові сірошаруваті (кумінгтоніт-вмісні); 8 – кумінгтоніт-магнетитові; 9 – магнетит-кумінгтонітові (з біотитом, гранатом).

Стратиграфічні горизонти: 5f – п'ятий залізистий, 6f – шостий залізистий; 3-5s – об'єднаний третій-п'ятий сланцевий; 6s – шостий сланцевий; 7s – сьомий сланцевий.

Автором дисертації було проведено вивчення складу мінералогічних різновидів з визначенням в них мінеральних асоціацій:

- кварцити магнетит-залізнослюдкові: кварц+гематит (залізна слюдка). +магнетит;
- кварцити залізнослюдко-магнетитові: гематит (залізна слюдка). +магнетит;
- кварцити магнетитові червоношаруваті: кварц+магнетит+гематит (залізна слюдка). ;
- кварцити магнетитові сірошаруваті: кварц+магнетит+кумінгтоніт;
- кварцити кумінгтоніт-магнетитові: кварц+магнетит+кумінгтоніт;
- кварцити магнетит-кумінгтонітові: кварц+кумінгтоніт+магнетит.

За виділеними мінеральними асоціаціями видно, що основними мінералами, які впливають на показники стійкості гірничих масивів, є кварц, магнетит, гематит (залізна слюдка), кумінгтоніт. Автором було вирішено акцентувати увагу при мікроскопічному вивченні саме на ці мінерали. Серед них рудними є магнетит та гематит (залізна слюдка).

Магнетит як головний рудний мінерал присутній в усіх мінералогічних різновидах. Його морфологічні особливості систематично змінюється в межах продуктивної товщі обох родовищ. В центральних частинах горизонтів магнетит утворює стрічковидні, рідше блокові та гілчасті агрегати (рис. 4.2а). Ближче до периферії продуктивних товщ родовищ, навпаки, переважають гілчасті та блокові агрегати магнетиту. В більш бідних магнетитом різновидах субідіоморфні індивіди мінералу утворюють крупні блокові агрегати (рис. 4.2в).

При мінералогічних дослідженнях (Євтехов, Тіхлівець, Євтехов, 2020; Євтехов, Тіхлівець, Демченко, Євтехов, 2020; Євтехов, Тіхлівець, Тіхлівець, 2022) окрім морфологічних властивостей магнетиту вивчався його хімічний склад. Для цього вибирались індивіди різні за:

- морфологією (ізометричні ксеноморфні, ізометричні гіпідіоморфні);
- цілісністю («монолітні», тріщинуваті);
- ступенем агрегатності (поодинокі, зрощені, переважно, блоково-гілчасті агрегати).

На різних ділянках індивідів (рис. 4.3.) за допомогою мікрозондового аналізу було визначено хімічний склад у декількох точках (від 2 до 5). Результати наведені в табл. 4.1.

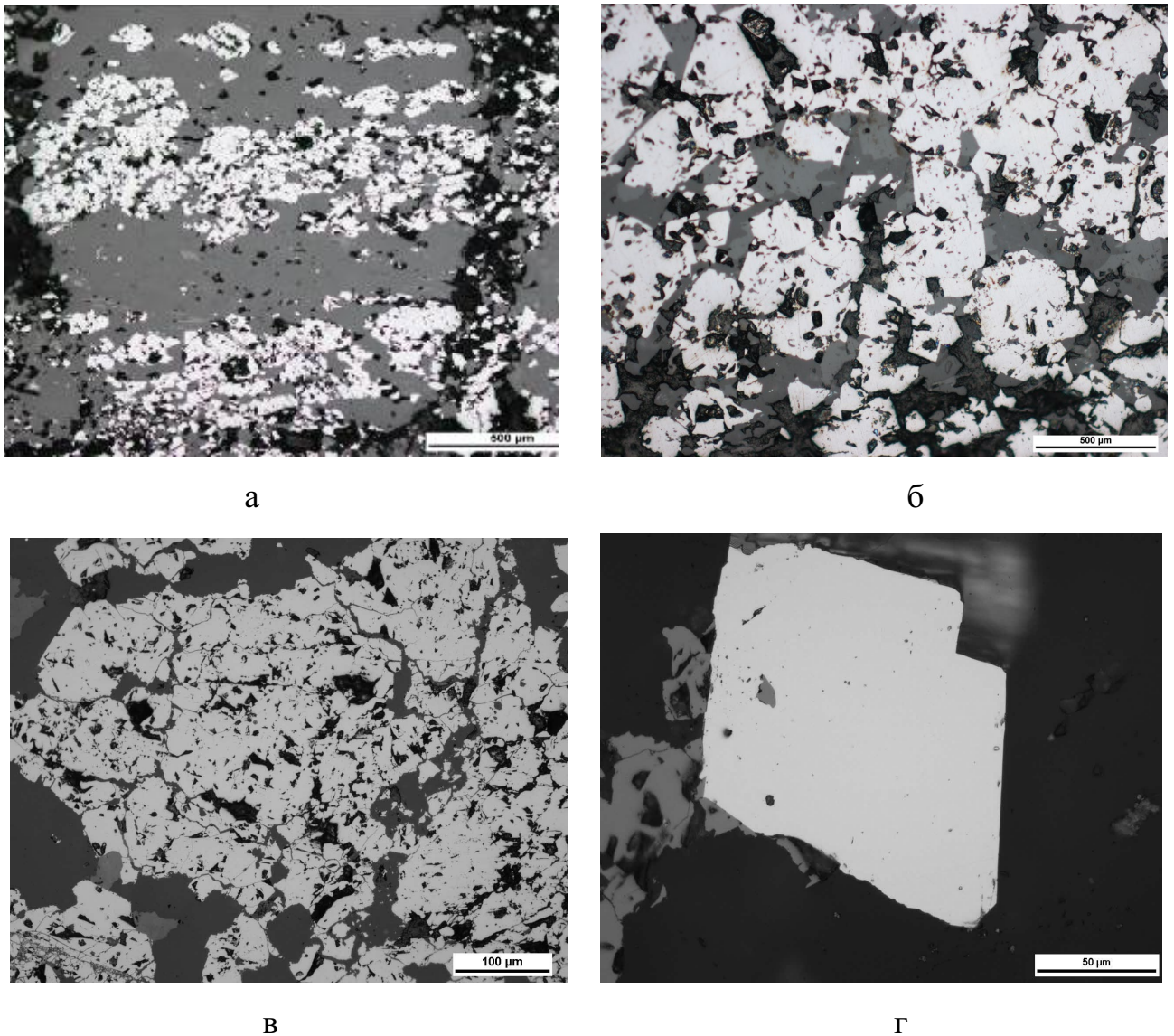


Рис. 4.2.. Морфологічні різновиди зерен метаморфогенного магнетиту з продуктивної товщі Первомайського родовища (пояснення в тексті).

а – стрічковидні агрегати магнетиту; *б* – ізометричні та блокові агрегати магнетиту; *в* – блокові, частково тріщинуваті агрегати магнетиту; *г* – ідіоморфне зерно магнетиту.

а-г – світло-сіре – магнетит; відбите світло; ніколи паралельні.

За отриманими результатами видно, що для «монолітного» (рис. 4.3а) та тріщинуватого (рис. 4.3б) індивідів магнетиту вміст заліза близький (відповідно, 94,744% та 94,698%). Цікавий той факт, що у складі першого зразка присутні Al_2O_3 (0,048%), MnO (0,021%), ZnO (0,021%), при цьому вони відсутні в складі тріщинуватих агрегатів, але містять 0,007% Cr_2O_3 .

Таблиця 4.1

Результати мікрозондового аналізу зерен магнетиту продуктивної товщі
Ганнівського родовища

№	V_2O_5	TiO_2	Al_2O_3	Cr_2O_3	FeO	MnO	ZnO	CaO	NiO	CoO	Total
1	0,000	0,021	0,048	0,000	94,744	0,021	0,021	0,000	0,000	0,000	94,855
2	0,005	0,009	0,000	0,001	93,447	0,032	0,005	0,002	0,007	0,009	93,535
3	0,000	0,012	0,000	0,007	94,698	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	94,717
4	0,010	0,000	0,022	0,002	94,522	0,003	0,000	0,003	0,000	0,013	94,575
Min	0,000	0,000	0,000	0,000	93,447	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	93,535
Max	0,010	0,021	0,048	0,007	94,744	0,032	0,021	0,003	0,007	0,013	94,855
Average	0,004	0,010	0,022	0,003	94,353	0,014	0,007	0,001	0,002	0,005	94,420
Sigma	0,005	0,009	0,020	0,003	0,611	0,015	0,010	0,002	0,004	0,007	0,601

На хімічний склад магнетиту впливає як його розташування в межах продуктивної товщі, так і вторинні геологічні процеси. За попередніми даними дослідників (Карпенко, 2011) відомо, що магнетит з центральних зон продуктивної товщі має хімічний склад близький до стехіометричного. Тоді як в напрямку до периферійних зон, фіксується збільшення вмісту FeO . Це пояснюється поступовим зниженням фугітивності кисню в первинних метаморфогенних розчинах при наближенні до периферійних зон товщі. Крім того, у якості ізоморфної домішки в кристалічній ґратці (Карпенко, 2011) присутні Al_2O_3 , MnO , MgO , CaO в зернах магнетиту з приконтактових зон, складених кумінгтоніт-магнетитовими і магнетит-кумінгтонітовими кварцитами.

Крім того, на склад магнетиту також впливають вторинні процеси, які широко проявлені в межах продуктивної товщі (натрієвий метасоматоз, гіпергенез тощо) (пункт 4.1.3 розділу 4).

Гематит (залізна слюдка) входить як пороутворювальний мінерал тільки до різновидів центральної частини продуктивної товщі – магнетит-залізнослюдкових та залізнослюдко-магнетитових кварцитів. В інших різновидах його кількість незначна.

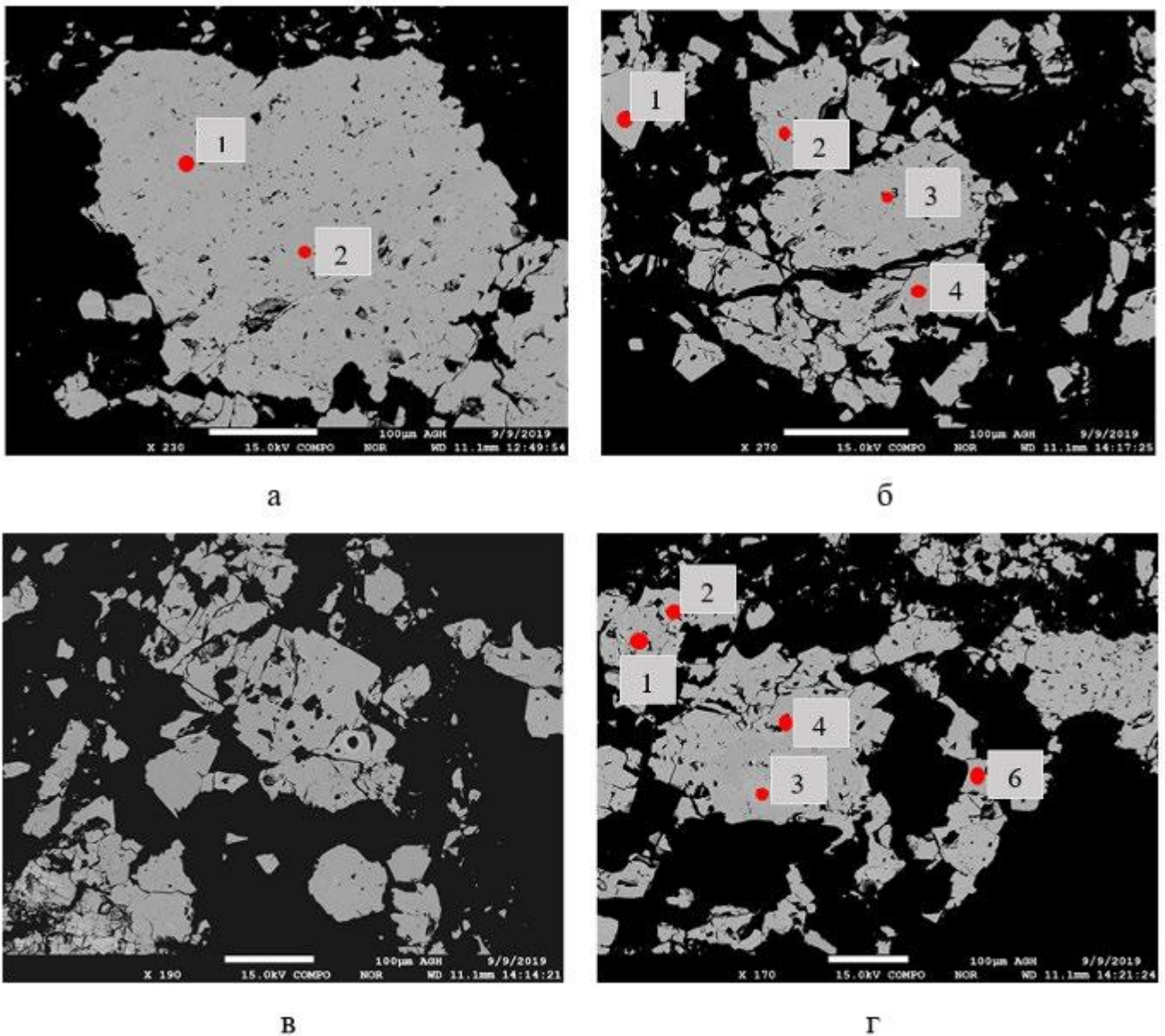


Рис. 4.3. Локація точок визначення хімічного складу індивідів магнетиту з продуктивної товщі Ганнівського родовища.

а-г – індивіди магнетиту: *а* – ізометричний ксеноморфний «монолітний»; *б* – ізометричний ксеноморфний тріщинуватий; *в* – ізометричний гіпідіоморфний три-

Продовження рис. 4.3.

щинуватий; z – ізометричний ксеноморфний, зрощений у блоково-гілчастий агрегат.

1-5 – місця проведення мікроаналізу.

В матеріалі досліджених проб виявлені дві генерації залізної слюдки: 1) метаморфічна; б) альпійського жилотворювання.

Перша генерація представлена пластинчастими індивідами субпаралельного орієнтування по відношенню до шаруватості кварцитів (рис. 4.4а). Другу генерацію представляють індивіди залізної слюдки в складі альпійських жил, січних до шаруватості кварцитів (Карпенко, 2011).

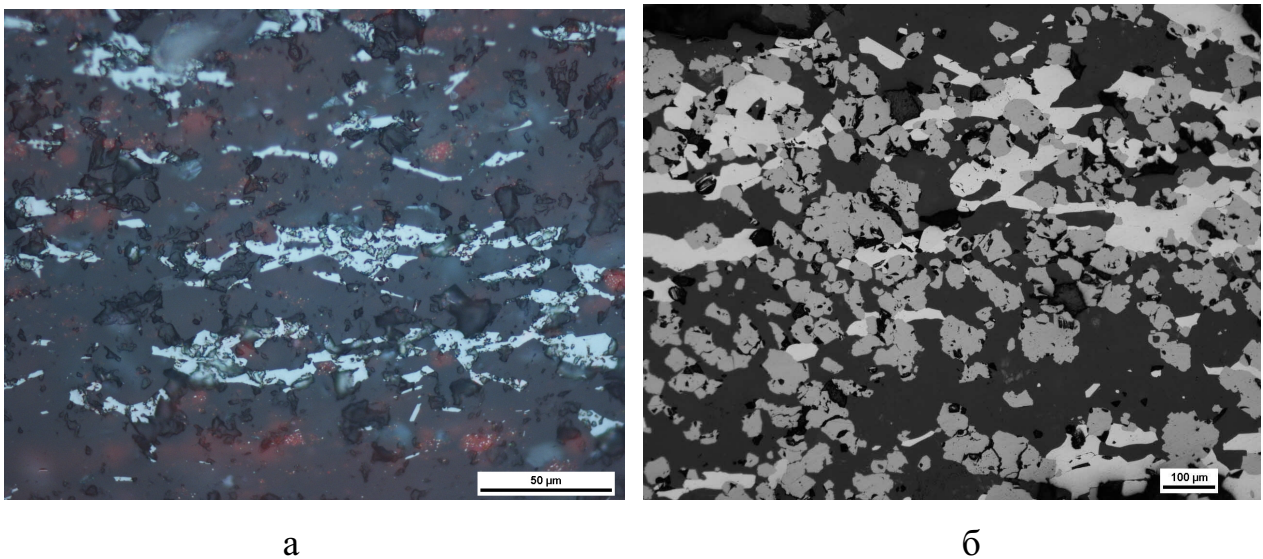


Рис. 4.4. Морфологічні особливості залізної слюдки.

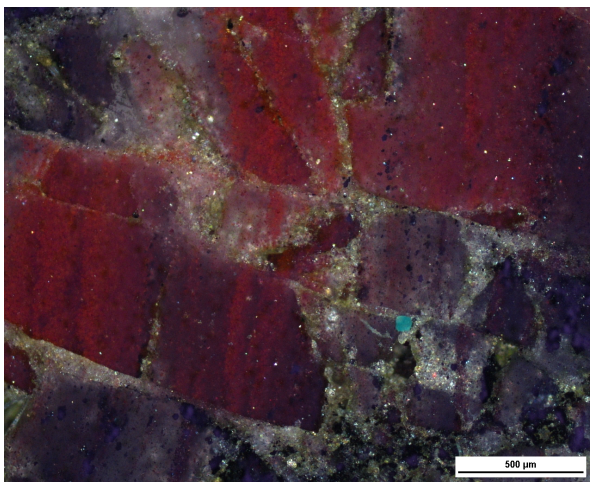
а – лускуваті зерна залізної слюдки (біле) в нерудному прошарку залізнослюдо-магнетитових кварцитів;

б – зростки магнетиту із залізною слюдкою в рудних прошарках залізнослюдо-магнетитових кварцитів;

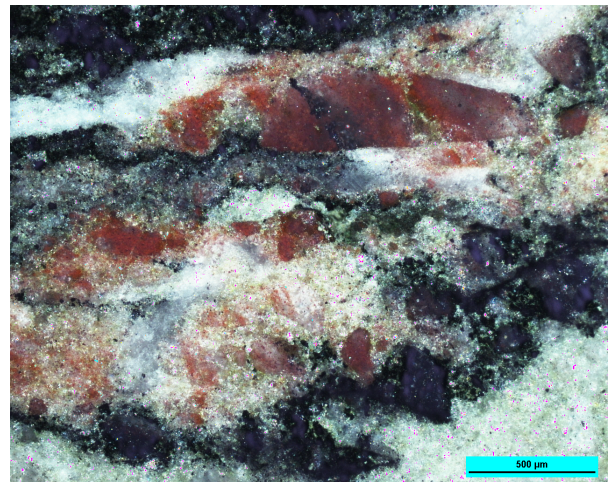
а – косе відбите світло; *б* – пряме відбите світло; ніколі паралельні.

Нерудні мінерали, які за своїми властивостями також впливають на стійкість гірничих масивів, є кварц і кумінгтоніт. Кількість останнього мінлива в залежності

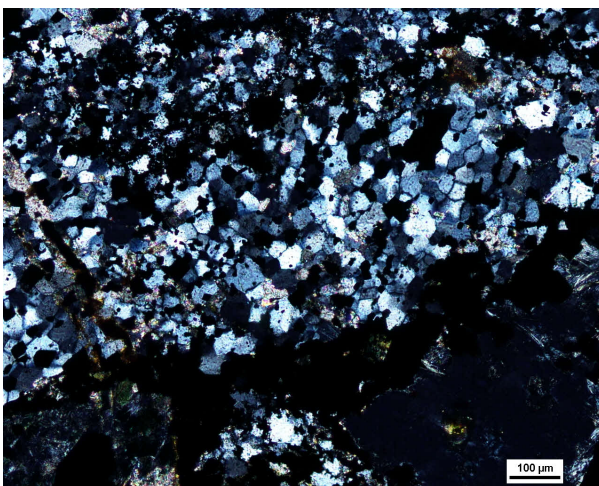
від позиції мінерального різновиду в межах продуктивної товщі родовищ. **Кварц**, як основний породоутворювальний мінерал, присутній в усіх різновидах. Мікроскопічні дослідження показали, що морфологічно форми зерен кварцу спрощуються в напрямку до периферії продуктивних горизонтів (рис. 4.5). В складі залізнослюдковмісних різновидів кварц найчастіше представлений у вигляді зростків з залізною слюдкою (в нерудних прошарках) та магнетитом (в рудних). За рахунок цього відбувається фарбування кварцу з червоні відтінки (рис. 4.5 а, б). В кумінгтонітвмісних різновидах – кварц часто утворює мономінеральні прошарки, крім того зустрічаються його крупні ідіоморфні зерна (рис. 4.5 в, г).



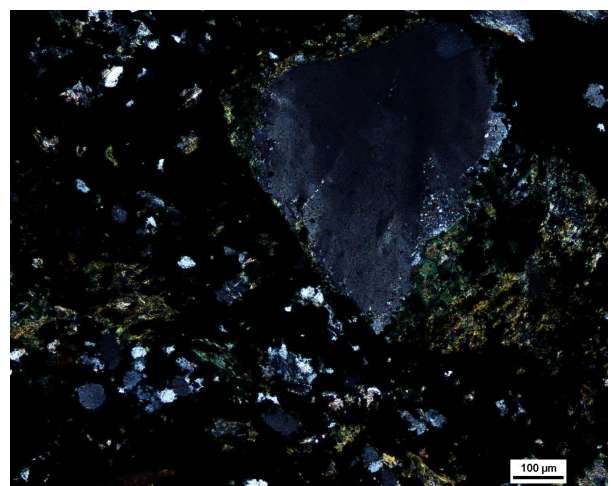
а



б



в



г

Рис. 4.5. Морфологічні особливості кварцу, магнетиту і залізної слюдки з продуктивних товщ родовищ Північного залізорудного району.

Продовження рис. 4.5.

а – включення залізною слюдки в нерудних кварцових прошарках (Первомайське родовище);

б – тріщинуваті агрегати кварцу з включенням залізної слюдки (червоні) та без (білі) – Первомайське родовище;

в – ксеноморфні зерна магнетиту у нерудному прошарку магнетитових кварцитів (Ганнівське родовище).

г – гіпідіоморфне зерно кварцу (від світло- до темно-сірого) з силікатним (хлорит, кумінгтоніт) «кольоровим обрамленням» (Первомайське родовище).

а, б – відбите косе світло; ніколі паралельні; *в, г* – прохідне світло; ніколі схрещені.

Аналіз отриманих результатів мінералогічних досліджень, підтвердив (Євтехов та ін., 2019; Євтехов та ін., 2020), що будова та склад мінеральних різновидів аналогічний для обох родовищ. Зафіксована відмінність у різному кількісному співвідношенні виділених різновидів у складі продуктивних товщ. Тому автор наводить дані середніх показників мінерального складу родовищ в табл. 4.2.

Таблиця 4.2.

Середній мінеральний склад руд продуктивних товщ Первомайського та Ганнівського родовищ

Мінеральні різновиди кварцитів	Вміст мінералів, мас.%							загалом
	магнетит	кварц	гематит	¹ силікати-1	² силікати-2	³ карбонати	⁴ інші	
магнетит-залізнослюдкові	27,18	39,63	31,02	0,79	0,18	0,69	0,51	100,00
залізнослюдко-магнетитові	45,71	40,01	11,39	1,08	0,31	0,96	0,54	100,00
магнетитові	52,01	40,79	2,34	2,08	0,69	1,38	0,71	100,00
кумінгтоніт-магнетитові	43,81	38,44	0,21	13,48	1,42	1,72	0,92	100,00
магнетит-кумінгтонітові	29,34	31,66	0,15	33,42	2,39	1,98	1,06	100,00

¹ – силікати-1 (твердість за Ф.Моосом понад 5) – кумінгтоніт, гранат, ставроліт, актиноліт, тремоліт тощо);

² – силікати-2 (твердість за Ф.Моосом – до 3) – біотит, мусковіт, хлорит, тальк, селадоніт, стильпноелан тощо).

³ – кальцит, сидерит, сидероплезит;

⁴ – інші мінерали: апатит, пірит, піротин, халькопірит, ільменіт, хроміт, рутил, графіт, барит, целестин, гіпс тощо.

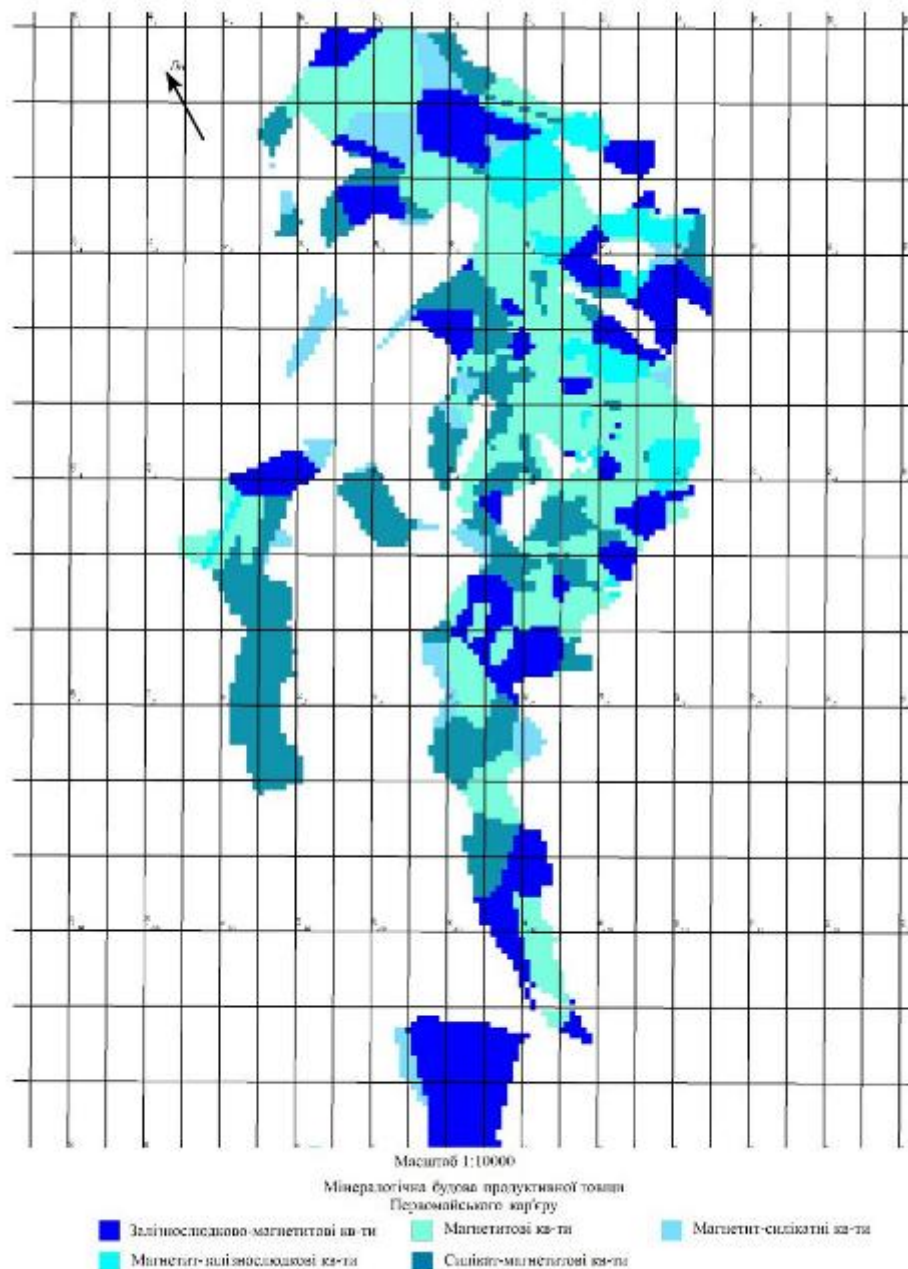


Рис. 4.6. Мінералогічна будова продуктивної товщі Первомайського родовища.

При цьому за основу виділення основних мінеральних фаз були взяті показники твердості за Ф.Моосом (*Євтехов та ін., 2020*). Загальна кількість визначень мінерального складу для кожного різновиду окремо кожного родовища становила 25, сумарна кількість визначень – 250.

Висновок.

Детальне вивчення мінералогічного складу руд продуктивної товщі обох родовищ показало, що в складі руд переважають мінерали, твердість яких переважає 5 за Ф.Моосом: від 5 до 6 (магнетит, гематит, кумінгтоніт); дорівнює 7 (кварц). Загальний вміст цих мінералів у складі кожного мінерального різновиду продуктивної товщі становить понад 90 мас.%. Крім того, в таких мінералах як кварц, магнетит, гематит спайність відсутня, на відмінну від кумінгтоніту, для якого характерна досконала спайність по призмі. Тому варто говорити про нижчу механічну стійкість кумінгтоніт-магнетитових та магнетит-кумінгтонітових кварцитів периферійних частин продуктивних товщ родовищ, у порівнянні з різновидами їх центральних зон. На основі отриманих даних рудні поклади Первомайського та Ганнівського родовищ за мінералогічними показниками можна віднести до високо стійких гірничих масивів.

4.1.2. Сингенетичні мінерали вміщуючих товщ

Підстеляючими продуктивні товщі обох родовищ є *сланцеві горизонти*, які представлені сланцями різного складу з прошарками некондиційних кварцитів. Як наведено в розділі 1, сланцеві горизонти викриті в східному та північно-східному бортах Первомайського родовища (третій-п'ятий, другий і перший сланцеві горизонти) та у східному борті Ганнівського кар'єру (перший і нульовий сланцеві горизонти).

За генезисом породи вміщуючих товщ аналогічно з породами продуктивної товщі, відносяться до сингенетичних та характеризуються проявом аутигенно-метаморфогенної мінералогічної зональності (*Євтехова, 2007; Карпенко, 2011,*

Тіхлівець, Тіхлівець, 2021; Євтехов та ін., 2019; Євтехов та ін., 2020; Євтехов, Тіхлівець, Демченко, Євтехов, 2020). На рис 4.7 схематично зображена мінералогічна будова сланцевих горизонтів Первомайського родовища, де фіксується зміна мінералогічних різновидів. Найбільш повно зональність представлена в розрізі третього-п'ятого сланцевого горизонту Первомайського родовища та першого сланцевого горизонту Ганнівського родовища. Інші сланцеві горизонти родовищ характеризуються «спрощеною» мінералогічною зональністю, а саме в їх будові відсутні високоглиноземисті (мусковітові) сланці.

В межах Первомайського родовища динамотермальний метаморфізм проявлений слабше, у порівнянні з Ганнівським родовищем. Південна частина родовища має прояви проміжних умов між зеленосланцевою та епідот-амфіболітовою фаціями (Євтехов, Тіхлівець, Євтехов, 2020; Євтехов та ін., 2017). Це пояснює присутність типоморфних для зеленосланцевих порід мінералів, а саме хлориту, сидериту та інших залізо-вмісних карбонатів.

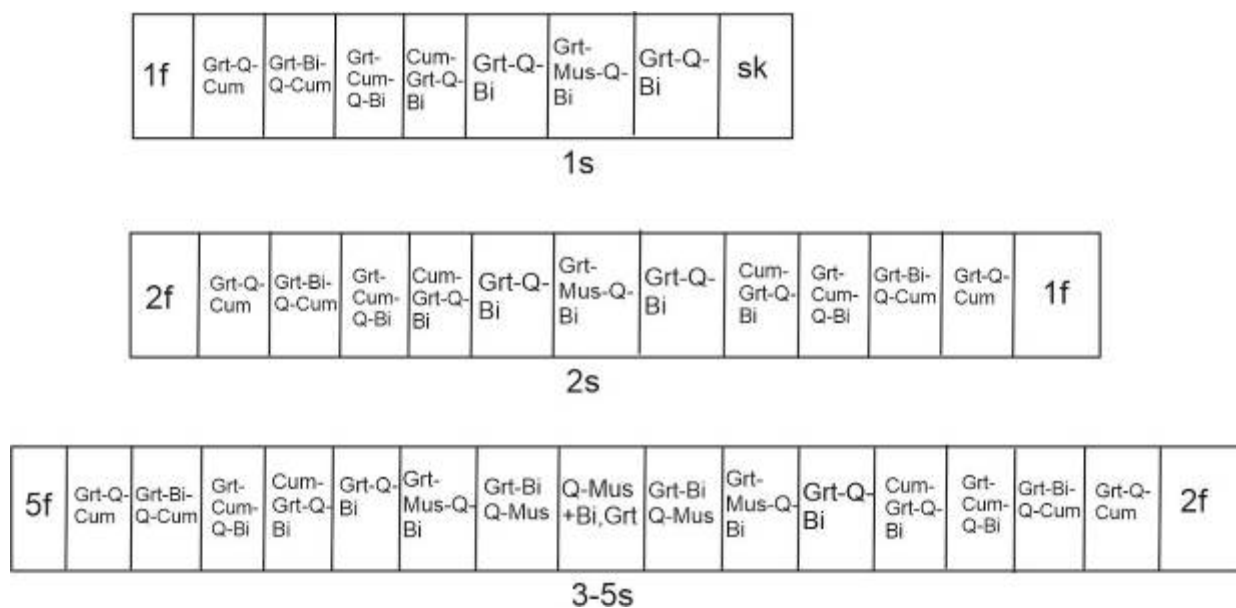


Рис. 4.7. Схематичне зображення особливостей мінералогічної будови сланцевих горизонтів Первомайського родовища.

Мінеральні різновиди сланців: 2 – кварц-мусковітові з біотитом і гранатом; 3 – гранат-біотит-кварц-мусковітові; 4 – гранат-мусковіт-кварц-біотитові; 5 – гранат-кварц-біотитові; 6 – кумінгтоніт-гранат-кварц-біотитові; 7 – гранат-

Продовження рис. 4.7.

кумінгтоніт-кварц-біотитові; 8 – гранат-біотит-кварц-кумінгтонітові; 9 – гранат-кварц-кумінгтонітові.

Стратиграфічні горизонти: 1s – перший сланцевий, 2s – другий сланцевий; 3-5s – об'єднаний третій-п'ятий сланцевий; 1f – перший залізистий; 2f – другий залізистий; 5f – п'ятий залізистий; sk – скелюватської світи.

Північна частина Первомайського родовища за умовами метаморфізму (епідот-амфіболітової фації) аналогічна з Ганнівським родовищем. Характерними рисами результатів таких умов метаморфізму є відсутність хлориту та карбонатів з підвищеним вмістом заліза, а також наявність серед породоутворювальних силікатів кумінгтоніту, біотиту, гранатів (Євтєхов, 1998; Паранько, Евтєхов, Евтєхов, Федорова, 2002).

При кількісних підрахунках мінерального складу порід сланцевих горизонтів обох родовищ автором було враховувано мінеральний склад прошарків силікатних кварцитів, кількість яких у вивчених сланцевих горизонтах складає близько 20%.

Таблиця 4.3.

Середній мінеральний склад порід сланцевих горизонтів Ганнівського та Первомайського родовищ

Мінеральні різновиди сланців	Вміст мінералів, мас. %							
	магнетит	кварц	гематит	¹ силікати-1	² силікати-2	³ карбонати	⁴ інші	загалом
суттєво мусковітові	0,39	43,43	0,16	2,54	52,58	0,11	0,79	100,00
суттєво біотитові	0,74	43,83	0,12	7,61	46,54	0,39	0,77	100,00
біотитові з кумінгтонітом	0,98	40,83	0,27	24,46	31,71	1,03	0,72	100,00
суттєво кумінгтонітові	3,74	40,85	0,29	47,38	5,09	1,79	0,86	100,00

¹ – силікати-1 (твердість за Ф.Моосом понад 5) – кумінгтоніт, гранат, ставроліт, актиноліт, тремоліт тощо); ² – силікати-2 (твердість за Ф.Моосом – до 3) – біотит, мусковіт, хлорит, тальк, селадоніт, стильпноелан тощо); ³ – кальцит, сидерит, сидероплезит; ⁴ – інші мінерали: апатит, пірит, піротин, халькопірит, ільменіт, хроміт, рутил, графіт, барит, целестин, гіпс та ін.

За отриманими результатами можна зробити **висновок**, що мінерали більшої твердості (понад 5) за шкалою Ф.Мооса представлені кварцом, кумінгтонітом, магнетитом, гранатом. Загальна їх кількість становить понад 90 мас.% в межах периферійних зон сланцевих горизонтів, які представлені суттєво кумінгтонітовими сланцями. Тому ці породи можна віднести до механічно стійких. Центральні та проміжні зони горизонтів складені, відповідно, суттєво мусковітовими та біотитовими сланцями, де кількісне співвідношення мінералів високої та низької твердості приблизно паритетне. Тому їх відносимо до порід з відносно низькою геодинамічною стійкістю. При загальній оцінці мінералогічних особливостей сланцевих горизонтів, їх можна вважати помірно стійкими.

До вміщуючих порід, що перекривають продуктивну товщу родовищ відносять породи сьомого сланцевого та сьомого залізистого горизонтів Первомайського родовища та всієї пачки першого, другого і третього залізистих та другого, третього і четвертого сланцевих горизонтів Ганнівського родовища (Удовенко, Смиянова, Хартанович, 1993; Хартанович; 1983). Вони складені некондиційними магнетит-силікатними кварцитами та викриті в західних бортах обох родовищ. Масиви порід сьомого сланцевого й сьомого залізистих горизонтів присутні також у центральній зоні відпрацювання Первомайського кар'єру.

Ці породи, за умовами утворення також є сингенетичними. Проте, аутигенно-метаморфогенна зональність в них проявлена слабо. На рис. 4.8 на прикладі Первомайського родовища наведена схематичний розріз першого, другого та сьомого залізистих горизонтів саксаганської світи. Склад периферійних частин горизонтів відповідає некондиційним породам магнетит-біотит-кумінгтонітового складу. Крім того, центральні частини горизонтів містять лінзовидні малопотужні утворення біотит-кумінгтоніт-магнетитових кварцитів.

Породи сланцевих горизонтів теж складені магнетит-силікатними кварцитами, різниця в меншому на 2-5 мас.% вмісті магнетиту. Крім того, вони відрізняються

кількісним співвідношенням як мінералів класу «силікати» з більшою твердістю (кумінгтоніт, магнезіорибекіт), так і з меншою (біотит, тетраферибіотит).

Як зазначено в попередньому розділі, південна частина Первомайського родовища характеризується проявом більш низьким ступенем динамотермального метаморфізму, тому фіксується підвищений вміст хлориту, який відноситься до мінералів з низькою твердістю за шкалою Ф.Мооса. Середній мінеральний склад цих горизонтів наведено в табл. 4.4.

2s	Mgt-Bi-MgR- Cum	Bi-MgR- Cum-Mgt	Mgt-Bi-MgR- Cum	1s
1f				
3-5s	Mgt-Bi-MgR- Cum	Bi-MgR- Cum-Mgt	Mgt-Bi-MgR- Cum	2s
2f				
gd	Mgt-Bi-MgR- Cum	Bi-MgR- Cum-Mgt	Mgt-Bi-MgR- Cum	7s
7f				

Рис. 4.8. Особливості мінералогічної зональності першого, другого, сьомого залізистих горизонтів Первомайського родовища.

Мінеральні різновиди порід: 8 – кварцити біотит-магнезіорибекіт-кумінгтоніт-магнетитові, біотит-кумінгтоніт-магнетитові; 9 – кварцити магнетит-біотит-магнезіорибекіт-кумінгтонітові, магнетит-біотит-кумінгтонітові.

Стратиграфічні горизонти: 1f – перший залізистий; 2f – другий залізистий; 7f – сьомий залізистий; 1s – перший сланцевий; 2s – другий сланцевий 3-5s – третій-п'ятий сланцевий; gd – гданцівської світи.

Таблиця 4.4.

Середній мінеральний склад порід некондиційних кварцитів Первомайського та Ганнівського родовищ

Мінеральні різновиди порід	Вміст мінералів, мас. %							
	магнетит	кварц	гематит	¹ силікати-1	² силікати-2	³ карбонати	⁴ інші	загалом
кварцити біотит-магнетит-кумінгтонітові	18,01	43,66	0,15	27,43	9,12	0,84	0,79	100,00
кварцити біотит-кумінгтоніт-магнетитові	22,98	41,98	0,10	25,74	7,39	1,03	0,78	100,00
кварцити магнетит-біотит-магнезюорібекіт-кумінгтонітові	16,78	43,97	0,08	27,18	9,77	1,19	1,03	100,00
кварцити біотит-магнезюорібекіт-кумінгтоніт-магнетитові	22,61	41,50	0,09	26,36	7,62	1,08	0,74	100,00
сланці біотит-магнезюорібекіт-кварц-кумінгтонітові	3,74	46,07	0,12	38,51	9,98	0,69	0,89	100,00

¹ – силікати-1 (твердість за Ф.Моосом понад 5) – острівні, кільцеві, ланцюгові, стрічкові, каркасні силікати (кумінгтоніт, гранат, ставроліт, актиноліт, тремоліт та ін.). ;

² – силікати-2 (твердість за Ф.Моосом – до 3) – шарові силікати (біотит, мусковіт, хлорит, тальк, селадоніт, стилпномелан та ін.);

³ – кальцит, сидерит, сидероплезит;

⁴ – інші мінерали: апатит, пірит, піротин, халькопірит, ільменіт, хроміт, рутил, графіт, барит, целестин, гіпс та ін.

Висновок

За результатами отриманих даних видно, що в складі некондиційних магнетитових кварцитів вміщуючих товщ кількість мінералів високої твердості за Ф.Моосом (кварц, кумінгтоніт, магнезюорібекіт, магнетит) більша, у порівнянні з вмістом мінералів більш низької твердості (хлорит, біотит, тетраферібіотит, селадоніт). Таким чином, за мінералогічними особливостями магнетит-силікатні кварцити та сланці характеризуються високою міцністю та забезпечують достатньо високу стійкість гірничих масивів.

На рівні верхніх гіпсометричних горизонтів розробки як Первомайського, так і Ганнівського кар'єрів розкриті породи скелюватської (тальк-вмісні, кварц-мусковітові сланці та мусковітові кварцити), новокриворізької (амфіболіти, мусковіт-роговообманко-кварц-біотитові сланці, мусковіт-роговообманко-біотитові кварцити), гданцівської (мусковіт-кварц-біотитові сланці, мусковіт-біотитові кварцити, доломітові мармури) світ та осадового чохла (суглинки, глини з малопотужними верствами та лінзами піску, мергелю).

Автором було вивчено мінеральний склад цих порід на основі літотечних фондів кафедри геології та екології Криворізького національного університету. Результати кількісних підрахунків середнього мінерального складу наведено в табл. 4.5.

Таблиця 4.5.

Середній мінеральний склад порід скелюватської, новокриворізької, гданцівської світ та осадового чохла Первомайського та Ганнівського родовищ

Мінеральні різновиди порід	Вміст мінералів, мас. %							
	магнетит	кварц	гематит	¹ силікат и-1	² силікат и-2	³ карбонати	⁴ інші	загалом
<i>кайнозойський осадовий чохол</i>								
суглинки та глини	0,94	18,87	1,49	1,01	69,09	4,72	3,88	100,00
піски	1,53	86,28	0,47	4,16	4,89	1,92	0,75	100,00
мергелі	0,00	3,18	0,13	1,25	27,31	67,22	0,91	100,00
<i>гданцівська світ</i>								
мармури доломітові	0,87	4,71	0,65	3,67	4,15	84,82	1,13	100,00
сланці мусковіт-кварц-біотитові	1,23	28,55	0,24	4,53	63,12	1,46	0,87	100,00
кварцити мусковіт-біотитові	1,54	59,57	0,31	3,90	31,95	1,79	0,94	100,00
<i>скелюватська світ</i>								
сланці тальк-вмісні	2,57	3,21	0,19	39,58	48,16	4,01	2,03	100,00
сланці кварц-мусковітові	2,04	30,17	0,86	3,12	62,07	0,38	1,29	100,00
кварцити мусковітові	2,77	64,05	1,03	2,01	28,12	0,51	1,54	100,00
<i>новокриворізька світ</i>								
амфіболіти	3,96	9,15	0,74	64,79	18,22	1,98	1,08	100,00
сланці мусковіт-роговообманко-кварц-біотитові	2,08	26,70	0,53	22,91	45,89	0,91	1,04	100,00
кварцити мусковіт-роговообманко-біотитові	2,91	51,42	0,86	17,75	25,09	1,01	0,86	100,00

Продовження табл. 4.5.

дніпропетровський комплекс гранітоїдів									
граніти	мікроклін-кварц-плагіоклазові	1,93	29,78	0,34	55,81	10,13	0,77	1,24	100,00

¹ – силікати-1 (твердість за Ф.Моосом понад 5) – острівні, кільцеві, ланцюгові, стрічкові, каркасні силікати (кумінгтоніт, гранат, ставроліт, актиноліт, тремоліт та ін.); ² – силікати-2 (твердість за Ф.Моосом – до 3) – шарові силікати (біотит, мусковіт, хлорит, тальк, селадоніт, стильпноелан та ін.); ³ – кальцит, сидерит, сидероплезит; ⁴ – інші мінерали: апатит, пірит, піротин, халькопірит, ільменіт, хроміт, рутил, графіт, барит, целестин, гіпс та ін.

Аналіз результатів кількісних мінералогічних підрахунків показав, що за кількісним співвідношенням мінералів з різною твердістю за Ф.Моосом та проявом спайності, досліджені породи товщі можна поділити на ті, що мають:

- високу міцність – амфіболіти новокриворізької світи;
- середню міцність – кварцити мусковітові скелюватської світи; кварцити мусковіт-роговообманково-біотитові новокриворізької світи; мармури доломітові та кварцити мусковіт-біотитові гданцівської світи;
- низьку міцність – сланці кварц-мусковітові скелюватської світи; сланці мусковіт-роговообманково-кварц-біотитові новокриворізької світи; сланці мусковіт-кварц-біотитові гданцівської світи; мергелі осадового чохла;
- дуже низьку міцність – сланці тальк-вмісні скелюватської світи; глини, суглинки та піски осадового чохла.

Ці породи впливають на загальну стійкість гірничих масивів.

4.1.3. Епігенетичні мінерали вміщуючих товщ

Епігенетичні процеси в межах продуктивних товщі обох родовищ представлені натрієвим метасоматозом, катакластичним метаморфізмом та процесами вивітрювання (Трунін, 2020). Результати прояву інших епігенетичних геологічних процесів, таких як: гідротермальні процеси, шоковий та контактний метаморфізм тощо проявлені локально, тому суттєво на стійкість гірничих масивів не впливають.

Натрієвий метасоматоз, проявлений в продуктивній товщі обох родовищ утворенням егіринізованих (егіриніти) й рибекітизованих різновидів магнетитових кварцитів. Попередніми дослідниками (Євтехов та ін, 2019; Євтехов та ін., 2020; Тіхлівець, Євтехов, Тіхлівець, 2022) було зафіксовано локальний прояв східному і південно-східному бортах Первомайського родовища в сланцях третього-п'ятого сланцевого горизонту альбітових метасоматитів у вигляді малопотужних лінзовидних, жилоподібних тіл. Новоутворені метасоматити характеризуються проявом мінералогічної зональності, яка в межах продуктивних товщ родовищ «накладається» на аутигенно-метаморфогенну зональність продуктивної товщі (Карпенко, 2011). Схематично будова тіла натрієвих метасоматитів зображена на рис. 4.8.

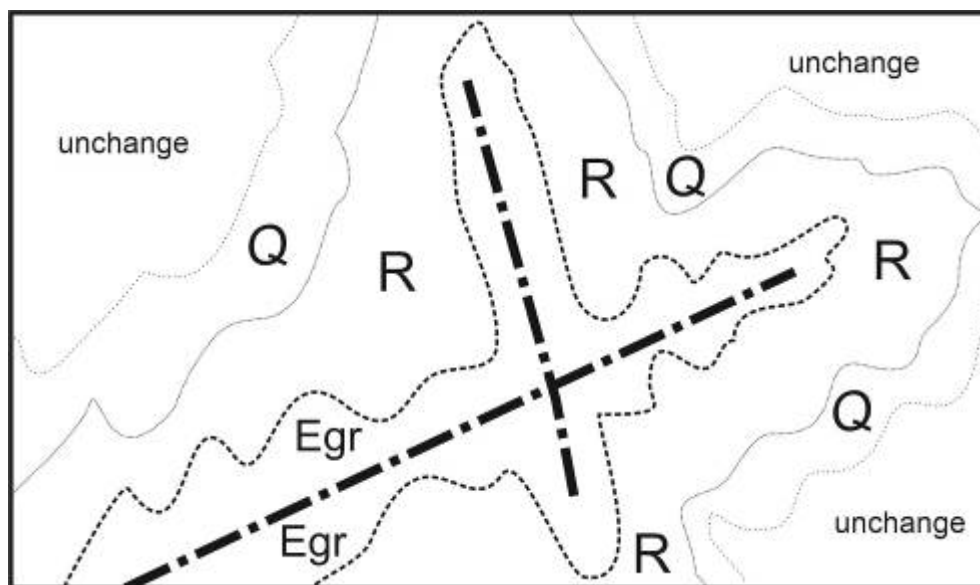



Рис. 4.9. Схема будови зонального тіла натрієвих метасоматитів.

unchange – незмінні магнетитові кварцити; зони метасоматичного тіла: *Q* – окварцування; *R* – рибекітизації; *Egr* – егіринізації;  - розривні порушення.

Егіринові метасоматити приурочені до розташування розривних порушень, які є каналами просування метасоматизуючих розчинів. Як наслідок, верстви, лінзи та жили егіринітів мають згідне (верстви) або січне (лінзи, жили) залягання. Потужність таких тіл в межах продуктивної товщі змінюється від 10 м (Ганнівське родовище) до 20 м (Первомайське родовища). Довжина, в середньому не більше 100

м (Карпенко, 2011). При егіринізації відбувається заміщення первинних мінералів – кварцу, магнетиту та гематиту, тому, як результат, утворюються бімінеральні тіла – егірин + магнетит (рис. 4.9). Кількість цього різновиду становить 1% від загальної маси продуктивних товщ обох родовищ.

Головними діагностичними властивостями егірину є його зелений колір, прояв досконалої спайності у двох напрямках, твердість за Ф.Мооса понад 5 (6-6,5), особливості морфології. Коротко- та довгопризматичні індивіди мінералу зрощені у лінзовидні, гніздоподібні (рис. 4.10) та радіально-променеві агрегати.

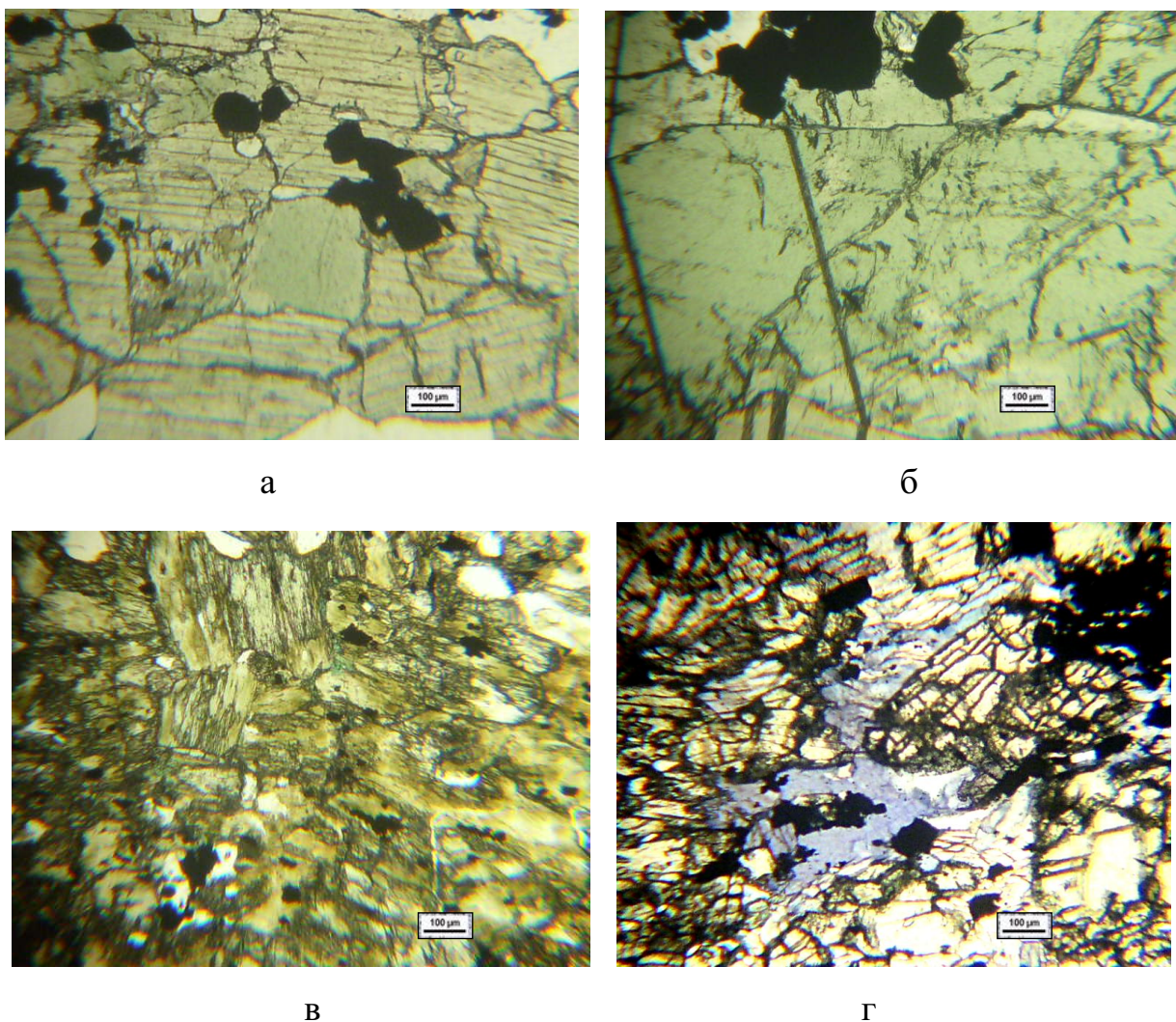


Рис. 4.10. Морфологічні особливості індивідів егірину (брудно-зелене). продуктивних товщ Ганнівського (а, б) та Первомайського (в, г) родовищ. Прохідне світло; ніколі паралельні.

Процес утворення рибекітових метасоматитів пов'язаний з «роботою» більш низької температури, флюїдного тиску, меншою активністю катіонів натрію, фугітивністю кисню тощо, у порівнянні з егіринітами. Тому просторово рибекітизовані різновиди кварцитів займають обрамляюче положення по відношенню до тіл егіринітів. Потужність рибекітових метасоматитів становить до 100 м, довжина – 1000 м. При їх утворенні відбувається заміщення рибекітом кварцу, магнетиту, гематиту й силікатів. Рибекітові метасоматити активніше проявлені, ніж егіринові, в межах Первомайського родовища їх кількість складає близько 30% від загальної маси руд (рис. 4.11), Ганнівського – 10%.



а

б

Рис. 4.11. Розкриті в межах бортів Первомайського кар'єру рибекітові метасоматити.

В продуктивних товщах обох родовищ рибекіт представлений декількома генетичними різновидами (Карпенко, 2011). Фіксуються метасоматично змінені кварцити різного ступеня рибекітизації (рис. 4.12 а,б), від початкових, де рибекіт в незначній кількості присутній тільки в прошарках магнетитових кварцитів, до повного заміщення як рудних, так і нерудних прошарків (рис. 4.12 в, г).

Характерні риси рибекіту, такі як досконала спайність, моноклінна сингонія, шовковий блиск твердість за Ф.Моосом 5-6,5, обумовлюють формування поверхонь ковзання.

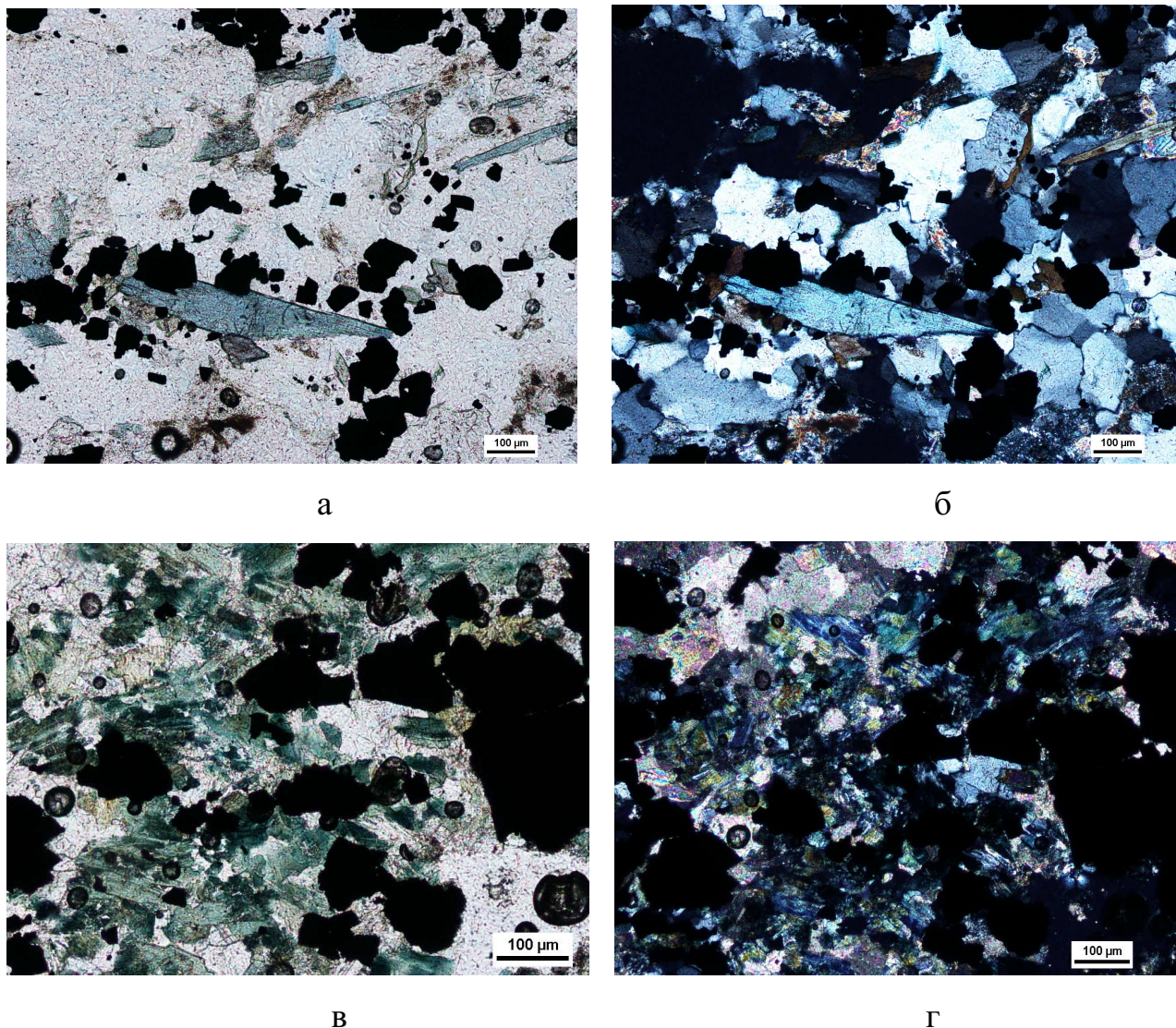


Рис. 4.12. Стадії прояву натрієвого метасоматозу в продуктивних товщах Ганнівського (а, б) та Первомайського (в, г) родовищ.

а, б – початкові стадії рибекітизації; в, г – кінцеві стадії (повне заміщення) рибекітизації.

а, в – відтінки синього – рибекіт; світло-сіре – карбонати; темно-сіре – кварц; чорне – магнетит; б, г – сіро-синє – рибекіт; різнокольорове – карбонати; від світло- до темно-сірого – кварц; чорне – магнетит.

Прохідне світло; ніколі паралельні (а, в); ніколі схрещені (б, г).

Периферійні зони тіл натрієвих метасоматитів представлені менш потужними (до 10-15 м), у порівнянні із проміжними, зонами окварцування. Вони утворились за

рахунок перенесення кремнезему із зон егіринізації та рибекітизації (*Tikhlivets. S., Tikhlivets Sg., 2022*). Результати вивчення середнього мінерального складу натрієвих метасоматитів наведені в табл. 4.6.

Таблиця 4.6.

Середній мінеральний склад натрієвих метасоматитів продуктивних товщ
Первомайського та Ганнівського родовищ

Мінеральні різновиди ме- тасоматитів	Вміст мінералів, мас.%							
	магне- тит	кварц	гема- тит	¹ силікати- 1	² силікати- 2	³ карбонат и	⁴ інші	загалом
егіринові	27,24	21,62	1,64	42,51	4,35	1,71	0,93	100,00
рибекітові	31,95	30,45	3,31	28,43	3,74	1,28	0,84	100,00

Висновок

Вивчення мінералогічних особливостей натрієвих метасоматитів Первомайського та Ганнівського родовищ показало, що в їх складі за кількістю переважають мінерали високої твердості за шкалою Ф.Моосу (кварц, рибекіт, егірин, магнетит, гематит). Їх сумарний вміст складає понад 91,4 мас.% в натрієвих метасоматитах, 90,8 мас.% – у рибекітових. Таким чином, їх можна віднести до руд високої міцності, які забезпечують високу стійкість гірничих масивів.

Катакласичний метаморфізм активно проявлений в продуктивній та вміщуючих товщах обох родовищ та обумовлений їх геологічною позицією – поблизу і безпосередньо в межах перетину субмеридіонального Криворізько-Кременчуцького та субширотного Девладівського розломів. В цій ділянці активно поширені диз'юнктивні порушення вихідного залягання товщ, зони дроблення і подрібнення руд і порід (*Євтехов, Тіхлівець, Демченко, Євтехов, 2020; Evtekhov, Tikhlivets, Tikhlivets, Urin, 2022; Черновский, Плотников, 1994*). Плікативні (складчасті) утворення проявлені слабо.

В ділянках переміщення тектонічних блоків на відстань до 1000 м (*Євтехов та ін., 2019; Євтехов та ін., 2020*) породи зазнавали дроблення та подрібнення. В

залежності від прояву їх інтенсивності, виділяються чотири стадії утворення тектонітів (рис. 4.13, 4.14).

– первинна стадія деформаційних змін, яка проявлена підвищеною тріщинуватістю без особливих змін структурних та текстурних особливостей (рис. 4.13а);

– проміжна, пов'язана з формуванням брекчій, які складені тектонічними уламками (близько 80 об'єм.%) переважним розміром в межах 0,1-15,0 см та перетертим матеріалом (цементом), кількість якого не перевищує 20 об'єм.% (рис. 4.13б);

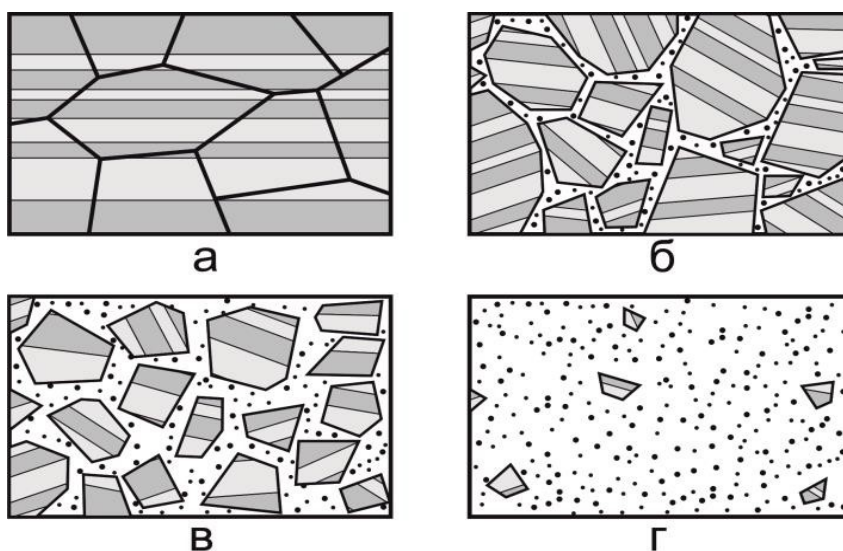


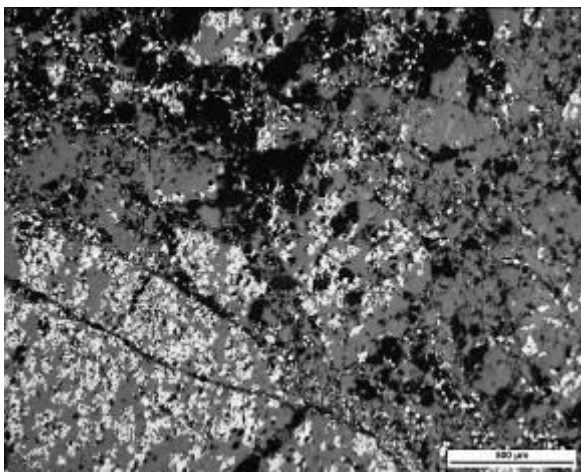
Рис. 4.13. Різні кількісне співвідношення дробленого (уламки) й подрібненого (перетерті руди й породи) матеріалу в складі диз'юнктивних тект тектонітів (Євтіхов та ін., 2019; Євтехов та ін., 2020).

а-г – текстури тектонітів: *а* – тріщинувата; *б* – брекчійова; *в* – катаклазитова; *г* – мілонітова.

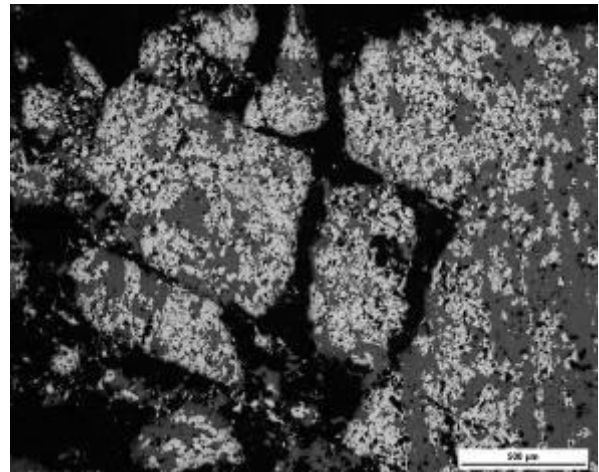
– стадія катаклазу, при якій подальша руйнація порід призводить до паритету кількості уламків та цементу; (рис. 4.13в). ;

– стадія мілонітизації, коли деформаційні зміни завершуються утворенням тектонітів, в яких вміст перетертого матеріалу (цементу) становить понад 80 об'єм.% (рис. 4.13г). .

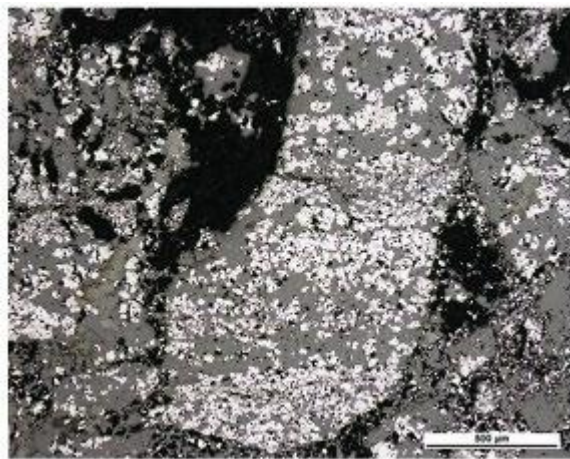
Висновок. Оскільки деформаційні процеси не привели до зміни мінерального складу первинних порід, міграція їх мінеральної сировини при переміщеннях формувала змішаний склад тектонітів. При цьому механічна стійкість тектонітів обумовлена ступенем їх деформації. А саме збільшується в напрямку від тектонітів 1 до 4 стадій.



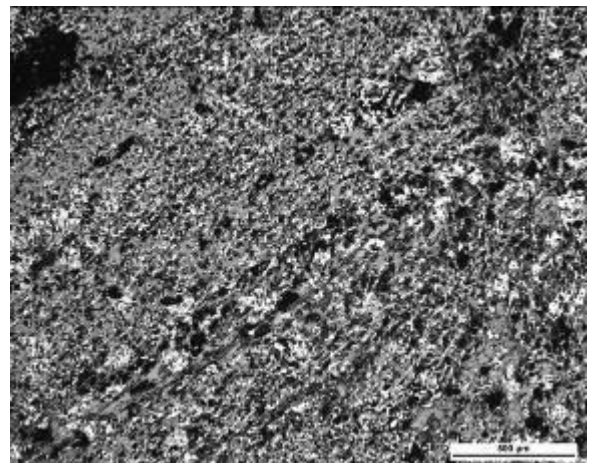
а



б



в



г

Рис. 4.14. Тектоніти продуктивної товщі Первомайського родовища.

а – тріщинуваті магнетитові кварцити; б – брекчія магнетитових кварцитів; в – катаклазит магнетитового кварциту; г – мілоніт по магнетитовому кварциту.

Біле – магнетит, сіре – кварц.

Відбите світло; ніколи паралельні.

Завершальним геологічним процесом у продуктивних і вмісних товщах Первомайського та Ганнівського родовищ є формування **кори вивітрювання** (Євтехов, Тіхлівець, Демченко, Євтехов, 2020; Трунін та ін., 2020; Тіхлівець та ін., 2020; Євтехов, Тіхлівець, Демченко, Євтехов, 2020; Євтехов та ін., 2020). Потужність її в межах Первомайського та Ганнівського родовищ незначна (максимально сягає 150 м, в середньому становить – 70 м). У порівнянні з родовищами Саксаганського, Південного та Інгулецького районів Криворізького басейну, де зони вивітрювання сягають 2500 м, родовища Північного району можна вважати гіпергенно слабо зміненими.

Незважаючи на слабкий прояв, процеси вивітрювання призвели до значних змін хімічного й мінерального складу руд і порід. При короутворенні відбувалось винесення калію та натрію, кальцію, магнію й частково – кремнію й заліза. В результаті в гіпергенних розчинах закисне залізо змінювало форму на окисну.

Мінерали руд і порід поділяються за стійкістю до процесів гіпергенезу: відносно стійкі – це кварц і залізна слюдка; нестійкі – магнетит, силікати, карбонати, сульфіди, які в результаті змін заміщуються на гематит, гетит, кварц та каолін, які в свою чергу є стійкими до гіпергенезу.

Кора вивітрювання залізистих порід характеризується проявом зональності: як вертикальної, так і горизонтальної (Карпенко, 2011). Перша пов'язана з глибиною проникнення процесів вивітрювання (рис. 4.15). Вона проявляється зміною таких зон (зверху вниз): гетит-мартитова → мартитова → магнетит-мартитова → мартит-магнетитова → магнетитова (невивітрені залізисті кварцити).

Кожна з цих зон представлена відповідним до їх назви мінеральним складом.

Для зони максимальних гіпергенних змін (зона гетит-мартитова). характерна присутність гетитизованих різновидів гематитових кварцитів. В межах цієї зони відсутні залізо-вмісні силікати й карбонати, а залізисті мінерали представлені гідроксидами заліза (гетит, лепідокрокит, дисперсний гетит). Вертикальна потужність цієї зони варіюється від 5 до 15 м.

Зона інтенсивних гіпергенних змін (зона мартитова) складена мартитовими кварцитами з дисперсним гематитом, потужність якої змінюється від 15 до 60 м і більше.

В магнетит-мартитовій зоні слабо проявлені гіпергенні зміни первинних магнетитових кварцитів. Фіксується кількість реліктового магнетиту більше 5 мас.%, а вміст новоутвореного мартиту становить понад 15 мас.%. Також присутні вихідні метаморфогенні силікати. При цьому вміст кварцу та залізної слюдки майже не змінився (Євтехов, Тіхлівець, Демченко, Євтехов, 2020; Карпенко, 2011). Потужність цієї зони змінюється від 5 до 30 м.

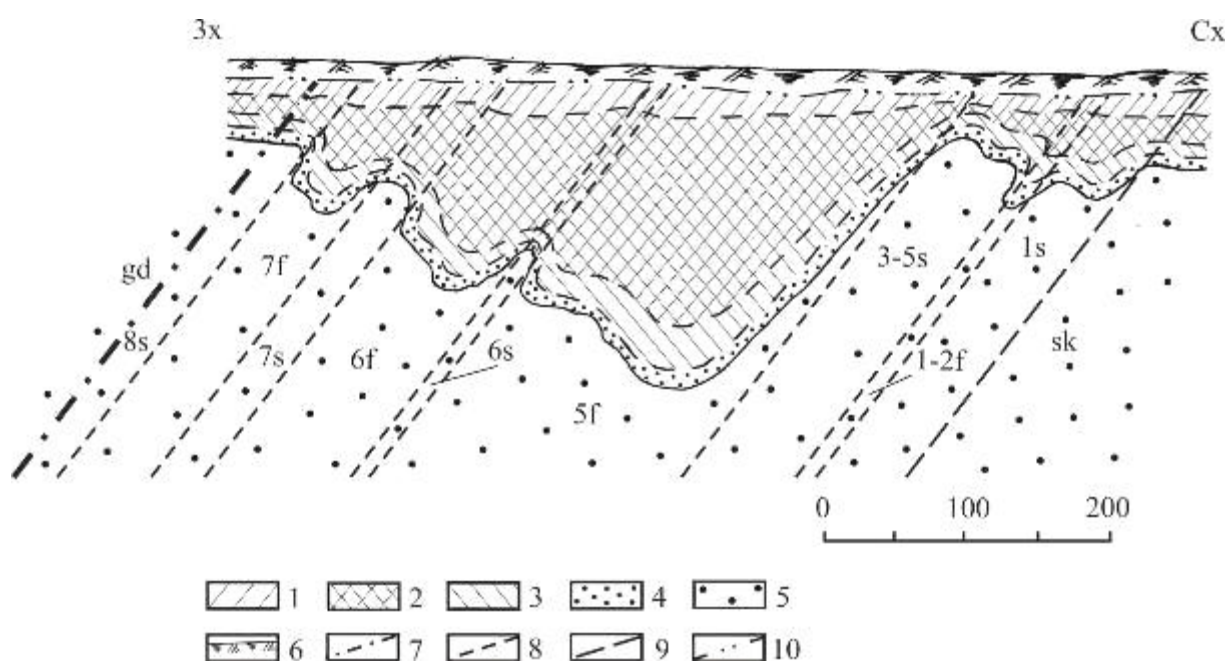


Рис. 4.15. Схематичний геологічний розріз кори вивітрювання продуктивної і вміщуючих товщ Ганнівського родовища (Карпенко, 2011).

1-4 – зони гіпергенних змін магнетитових кварцитів: 1 – гетит-мартитова; 2 – мартитова; 3 – магнетит-мартитова; 4 – мартит-магнетитова 5 – гіпергенно незмінені залісті кварцити і сланці; 6 – ґрунтово-рослинний шар і породи кайнозойського осадового чохла; 7 – розривне порушення; 8 – лінії контактів стратиграфічних горизонтів; 9 – лінія контактів світ; 10 – лінія поверхні ерозійного зрізу порід саксаганської світи.

Зона початкових гіпергенних змін (мартит-магнетитова) відокремлюється за вмістом мартиту (від 15 до 5 мас.%) і магнетиту (понад 15 мас.%). Характеризується поступовим переходом до гіпергенно незмінених магнетитових кварцитів. Вертикальна потужність зони становить 5-30 м. Описані залізисті кварцити через високий вміст магнетиту долучають до загального рудного потоку, який згодом направляється на дробильну та збагачувальну фабрики Північного гірничо-збагачувального комбінату.

Процеси вивітрювання призвели до значних змін мінерального, хімічного складу, структури, текстури первинних магнетитових руд і порід і, як наслідок, їх фізичних і технічних характеристик. Більшість з продуктів вивітрювання характеризуються низькою міцністю.

Інші гіпергенно зміннені породи залізорудної товщі північної частини басейну за міцністю мінеральних агрегатів, що забезпечує стійкість гірничих масивів, можна розділити на три групи (Додаток А, табл. 1):

1) руди й породи помірної міцності (мартитові, залізнослюдко-мартитові, дисперсногематит-мартитові кварцити саксаганської світи; слабо вивітрені амфіболіти новокриворізької світи; слабо вивітрені сланці, силікатні кварцити скелюватської світи);

2) руди й породи низької міцності (мартит-дисперсногематитові, мартит-дисперсногетитові кварцити, каолінит-кварц-дисперсногематитові, каолінит-кварц-дисперсногетитові сланці, каолінізовані кварц-мусковітові кварцити, інтенсивно вивітрені амфіболіти новокриворізької світи);

3) породи дуже низької міцності (вивітрені тальк-вмісні сланці, інтенсивно вивітрені кварц-мусковітові сланці).

За результатами табл. 4.7. на прикладі Первомайського родовища, було побудовано 3D модель з виділенням відповідних мінеральних різновидів (розділ 5, рис. 5.1).

4.2. Хімічний склад руд і порід

Окрім мінерального складу руд та вміщуючих порід обох родовищ, аналізувався їх хімічний склад. Для цього в сертифікованій лабораторії для матеріалу кожної проби, які відбирались при дослідженнях (Євтехов та ін., 2019; Євтехов та ін., 2020), були зроблені скорочені фазові аналізи для визначення вмісту загального заліза ($Fe_{\text{заг.}}$) і заліза, яке входить до складу магнетиту ($Fe_{\text{магн.}}$) – додаток Б.

Аналіз отриманих даних показав, що в хімічному складі спостерігаються закономірності (Tikhliyets S.V., 2021; Тіхлівець, Євтехов, Тіхлівець, 2022), які відповідають виділеним мінералогічним різновидам як сингенетичним, так і епігенетичним. Тобто можна виділити хімічні ряди продуктивних товщ обох родовищ.

Аналіз хімічних рядів відповідає аутигенно-метаморфогенній мінералогічній зональності продуктивних товщ, представлених залізнослюдко-магнетитовими (1 на рис. 4.16), магнетитовими червоношаруватими (2 на рис. 4.16), сірошаруватими (3 на рис. 4.16), кумінгтоніт-магнетитовими (4 на рис. 4.16) та магнетит-кумінгтонітовими (5 на рис. 4.16) кварцитами. Відбувається поступове зменшення загального вмісту заліза від 39-40 до 30-31 мас.%; а заліза магнетитового – від 29-30 до 20-21 мас.% (рис. 4.16).

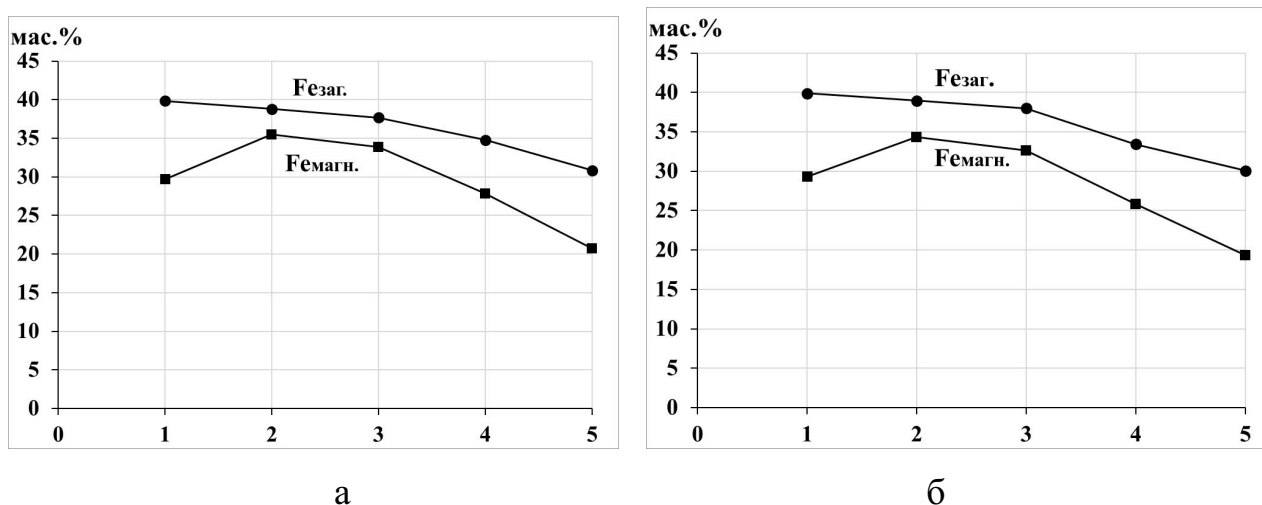


Рис. 4.16. Варіативність вмісту $Fe_{\text{заг.}}$ і $Fe_{\text{магн.}}$ у складі магнетитових кварцитів продуктивної товщі Первомайського (а) та Ганнівського (б) родовищ.

Процеси натрієвого метасоматозу, як епігенетичні зміни, сприяли частковому перенесенню кремнезему з первинних магнетитових кварцитів, що пояснює збільшений, у порівнянні з незміненими породами, вміст загального заліза в складі егіринітів, в меншій мірі, рибекітитових метасоматитів.

Для тектонічно змінених різновидів характерні нижчі показники вмісту $Fe_{\text{заг.}}$ та $Fe_{\text{магн.}}$ (додаток Б). В результаті збільшення активності диз'юнктивних процесів фіксується зменшення вмісту загального заліза в тріщинуватих, брекчіюваних, катаклазованих та мілонітизованих різновидах первинних кварцитів. Це пояснюється декількома факторами, а саме, процесами гідратації мінералів первинних порід, утворенням вторинних епігенетичних мінералів (кварцу, силікатів, карбонатів, сульфідів), які є складовими цементу, а також змішаний склад за рахунок потрапляння вмісних малорудних і нерудних порід.

Гіпергенні процеси обумовили незначне збільшення загального вмісту заліза в вивітрених кварцитах у порівнянні з первинними рудами. Причина полягає у частковому винесенні кремнезему при вивітрювання та значному зменшенню вмісту заліза в складі магнетиту, як рудного мінералу, через його мартитизацію.

Висновки

Аналіз результатів визначення хімічного складу руд і вмісних порід показав, що при виділенні мінералогічних різновидів необхідно враховувати дані хімічних показників руд. При цьому безпосереднього впливу хімічного складу порід на стійкість гірничих масивів не виявлено. Тому, при моделюванні стійкості гірничих масивів Первомайського та Ганнівського родовищ врахування хімічного складу руд і порід можна вважати не обов'язковим.

4.3. Геологічний фактор

4.3.1. Стратиграфія

Головними геологічними факторами впливу на геодинамічні показники гірських порід є стратиграфічний та тектонічний.

З точки зору впливу стратиграфії, то різні за мінеральним складом породи світ, горизонтів, верств обох родовищ по-різному обумовлюють, а іноді й сприяють руйнуванню бортів кар'єрів.

На основі отриманих результатів вивчення мінералогічних показників гірських порід, їх структури та текстури, а також їх механічної міцності, була розроблена класифікація стратиграфічних одиниць Первомайського та Ганнівського родовищ за їх стійкістю до руйнування підроблених гірничих масивів (Тіхлівець, Харитонов, Тіхлівець, 2024) – табл. 4.8. У випадку, коли в складі стратиграфічних одиниць присутні руди та/або породи з показниками різної міцності, то автором враховувалась їх кількісне співвідношення в межах горизонту (світи, верстви тощо).

Таблиця 4.8.

Категорії стійкості світ, підсвіт, стратиграфічних горизонтів, які складають гірничі масиви Первомайського кар'єру

Категорії стійкості в гірничих масивах	Світи, стратиграфічні горизонти
1 стійкі	<ul style="list-style-type: none"> ◆ сьомий залізистий горизонт; ◆ сьомий сланцевий горизонт; ◆ шостий і п'ятий залізисті горизонти продуктивної товщі; ◆ другий і перший залізисті горизонти; ◆ нижня (амфіболітова). підсвіта новокриворізької світи; ◆ дніпропетровський комплекс гранітоїдів;
2 помірно стійкі	<ul style="list-style-type: none"> – верстви продуктів вивітрювання безсилікатних руд лежачої пачки, порід нижньої підсвіти новокриворізької світи; нижньої підсвіти скелюватської світи; – гданцівська світа; – третій-п'ятий, другий, перший сланцеві горизонти; – нижня («аркозова»). підсвіта скелюватської світи;

	<ul style="list-style-type: none"> –верхня («кварцито-сланцева»). підсвіта новокриворізької світи; –верстви мергелів кайнозойського осадового чохла;
3 нестійкі	<ul style="list-style-type: none"> –верстви продуктів вивітрювання силікат-вмісних руд лежачої пачки, порід сьомого сланцевого та сьомого залізистого горизонтів, другого та першого залізистих горизонтів, середньої підсвіти скелюватської світи, верхньої підсвіти новокриворізької світи; –середня («філітова») підсвіта скелюватської світи;
4 дуже нестійкі	<ul style="list-style-type: none"> –верстви глин, суглинків, пісків кайнозойського осадового чохла; – верстви інтенсивно вивітрених порід третього-п'ятого, другого, першого сланцевих горизонтів; середньої підсвіти скелюватської світи; –верхня («талькова») підсвіта скелюватської світи.

Як приклад, розглянемо декілька варіантів:

Плагіограніти дніпропетровського комплексу були розкриті в південно-східній частині Ганнівського родовища та відносяться до високоміцних гірських порід. Крім того, у складі комплексу також фіксується незначна кількість гнейсів, мігматитів та інших гірських порід, що мають подібний до гранітів мінеральний склад. Це особливо не впливає на міцність масиву в цілому. Тому цю стратиграфічну одиницю відносимо до комплексів, що забезпечують стійкість підроблених гірничих масивів.

Нульовий і перший сланцеві горизонти Ганнівського та перший, другий, третій-п'ятий сланцеві горизонти Первомайського родовища на 80% представлені сланцями мусковіт-гранат-кумінгтоніт-кварц-біотитового складу й на 20% – силікатними кварцитами. Перші відносяться до механічно помірно стійких, другі – до стійких. Оскільки сланці значно більш поширені, названі сланцеві горизонти в таблиці 4.8., віднесені до породних комплексів, які забезпечують помірну стійкість підроблених гірничих масивів.

Верхня підсвіта скелюватської світи обох родовищ складена тальк-вмісними сланцями, які представлені чергуванням серпентин-хлорит-тальк-тремоліт-

актинолітових та серпентин-хлорит-талькових сланців («тальковий» підсвіта). За складом перші є механічно помірно стійкими, а другі, в свою чергу, є дуже нестійкими гірськими породами. В кількісному співвідношенні серпентин-хлорит-тальк-тремоліт-актинолітові сланці переважають, але породи всієї світи відносимо до комплексу, який обумовлює низьку стійкість бортів обох кар'єрів. Це пояснюється структурними та текстурними особливостями талькових сланців, наявність яких в якості прошарків спричиняє формування зсувів (Укрґіпроруда, 2008; Євтехов та ін., 2018а, Євтехов та ін., 2018б).

За отриманими результатами видно, що в східних частинах родовищ присутні гірські масиви, що за мінералогічними й стратиграфічними показниками відносяться до дуже нестійких. Вони складені у своїй більшості мінералами низької твердості (тальк, мусковіт тощо). Проявлені в обох кар'єрах осадові відклади кайнозою є неміцними породами та небезпечними щодо порушення бортів.

За результатами виділених в табл. 4.8. категорії порід за стійкістю з урахуванням стратиграфічного фактору впливу було побудовано 3D модель Первомайського родовища з їх виділенням (рис. 5.2).

4.3.2. Тектоніка

В межах Первомайського та Ганнівського родовищ проявлені тектонічні процеси різного масштабу, які обумовлені такими факторами (Євтехов, Тіхлівєтс, Тіхлівєтс, Урін, 2020).

1. Субмеридіональне простягання й стратифікованість залізорудної та вмісних товщ.
2. Просторовий зв'язок родовищ з місцем перетину Криворізько-Кременчуцького (субмеридіональний) та Девладівського (субширотний) глибинних розломів, для яких зафіксовані неодноразові етапи їх активізації (Почтаренкин, Шрамко, 1989).
3. Рухи крупних тектонічних блоків, розмір яких сягає до декількох сотень метрів, на великі відстані в субширотному напрямку (іноді до 1 км – Первомайське, до 100 м – Ганнівське родовища).

Зазначені фактори обумовили такі тектонічні риси в межах родовищ.

1. Присутність тріщинуватих, брекчіюваних, катаклазованих, мілонітизованих різновидів руд і гірських порід вздовж розривних порушень. Останні обумовлюють дезінтеграцію руд і порід, і, як наслідок, їх розуміщення.

2. Незначний прояв плікативних й активний – диз'юнктивних тектонічних порушень.

3. Різний ступінь поширення розривних порушень у межах родовищ. В північній та центральній частинах Первомайського родовища активно проявлені розломи, на відміну від його південної частини. Аналогічна ситуація спостерігається в напрямку з півдня на північ Ганнівського родовища.

Мінеральний склад вихідних руд і порід при утворенні тектонітів не змінюється, окрім порід змішаного складу, тому головним деформаційним фактором впливу на їх міцність і, як наслідок, на стійкість відповідних гірничих масивів, є ступінь їх дроблення та подрібнення.

У забоях Первомайського та Ганнівського кар'єрів проводились геологічні спостереження, за результатами яких можна зазначити, що наявність тектонічної тріщинуватості гірничих масивів впливає на їх стійкість (*Evtekhov, Tikhlivets, Tikhlivets, Urin, 2020*). Процес утворення тектонічних брекчій приводить до зменшення категорії стійкості гірничих масивів на 1 бал (табл. 4.9, 4.10), а утворення катаклазитів та мілонітів, відповідно, – на 2 бали.

Ділянки пониженої стійкості гірничих масивів, які прив'язані до поширення розривних порушень винесені на рис 4.17, 4.18.

В межах Первомайського родовища спостерігається доволі складна система розподілу ділянок гірничих масивів з підвищеною порушеністю. Для неї характерна криволінійність у напрямках прояву лінеаментів з високим ступенем дроблення та подрібнення руд. Це можна пояснити розташуванням цих ділянок родовища в місці перетину глибинних розломів (див. розділ 1).

В межах Ганнівського родовища субмеридіональні розривні порушення, які є опіряючими Девладівського глибинного розлому, проявлені відносно слабо. Складені вони вторинними тектонічно зміненими різновидами кварцитів: брекчіями, ка-

таклазитами, мілонітами. Просторово вони поширені, в більшості, в центральній частині продуктивної товщі родовища (рис. 4.17.).

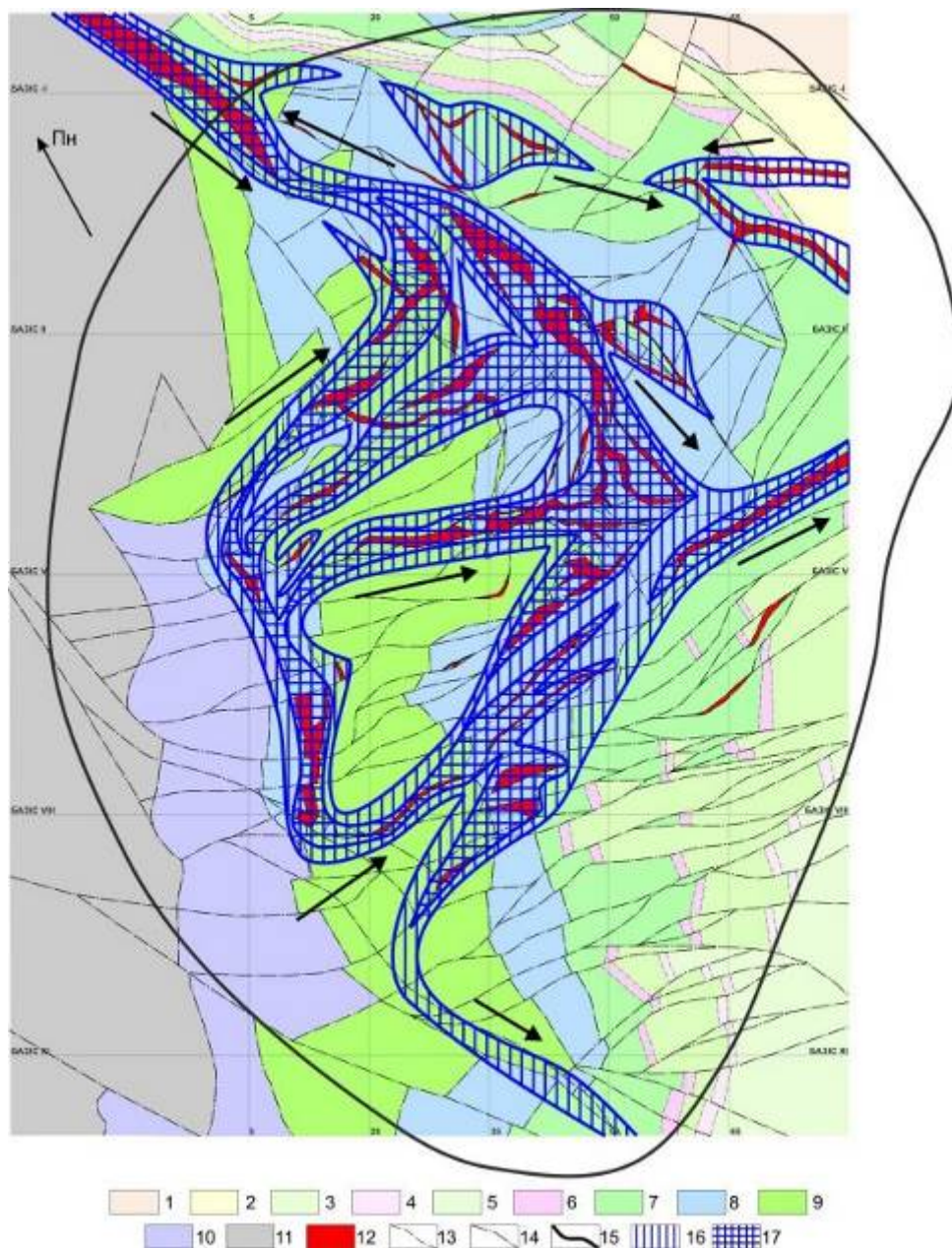


Рис. 4.17. Карта тектонічної порушеності масивів руд і гірських порід Первомайського родовища (Євтехов та ін., 2019; Євтехов та ін., 2020).

Стратиграфічні підрозділи та мінеральні різновиди руд і гірських порід: 1-2 – скелюватська світа: 1 – кварцити мусковітові та сланці кварц-мусковітові; 2 – сланці тальк-вмісні; 3-11 – саксаганська світа: 3 – сланці гранат-хлорит-біотит-кварц-кумінгтонітові першого сланцевого горизонту; 4 – кварцити магнетит-силікатні першого залізного горизонту; 5 – сланці гранат-хлорит-біотит-кварц-кумінгтонітові другого сланцевого горизонту; 6 – кварцити

Продовження рис. 4.17.

магнетит-силікатні другого залізного горизонту; 7 – сланці гранат-хлорит-біотит-кварц-кумінгтонітові третього-п'ятого сланцевого горизонту; 8 – кварцити залізнослюдко-магнетитові, магнетитові, силікат-магнетитові п'ятого та шостого залізистих горизонтів; 9 – кварцити магнетит-силікатні сьомого сланцевого горизонту; 10 – кварцити магнетит-силікатні сьомого залізного горизонту; 11 – кварцити силікатні, сланці та доломітові мармури гданцівської світи; 12 – брекчії, катаклазити, мілоніти; 13 – лінії контактів мінеральних різновидів руд і гірських порід; 14 – розривні порушення; 15 – контур кар'єру; 16-17 – ділянки помірної (16) та інтенсивної (17) тектонічної порушеності руд і гірських порід.

Стрілками показані напрямки тектонічних напружень при формування зон брекчіювання, катаклазування, мілонітизації руд і вмісних гірських порід.

В межах обох родовищ було виділено тектонічні блоки, розділені потужними зонами брекчіювання, катаклазування, мілонітизації магнетитових кварцитів та інших гірських порід, які відповідають найбільш крупним субширотним розривним порушенням. В самих блоках, тіла яких орієнтовані субмеридіонально, тріщинуватість проявлена відносно слабо, при чому спостерігається переважання тріщин субширотного простягання.

В межах Первомайського родовища виділяються три тектонічних блоки:

- західний, містить в собі центральну та західну частини родовища;
- північно-східний, відокремлений від західного системою діагональних розривних порушень, орієнтація яких має північно-західний – південно-східний напрямок;
- південно-східний відділяється від західного системою діагональних розривних порушень, орієнтованих північно-східним – південно-західним напрямком.

За результатами геологічних, мінералогічних, петрографічних досліджень забов'їв Первомайського кар'єру було визначене кількісне співвідношення всіх мінеральних різновидів руд та вміщуючих порід, описаних в розділі 4 (*Evtekhov, Tikhlivets,*

Tikhlivets, Urin, 2022; Євтехов та ін., 2019; Євтехов та ін., 2020) у складі виділених тектонічних блоків (табл. 4.9).

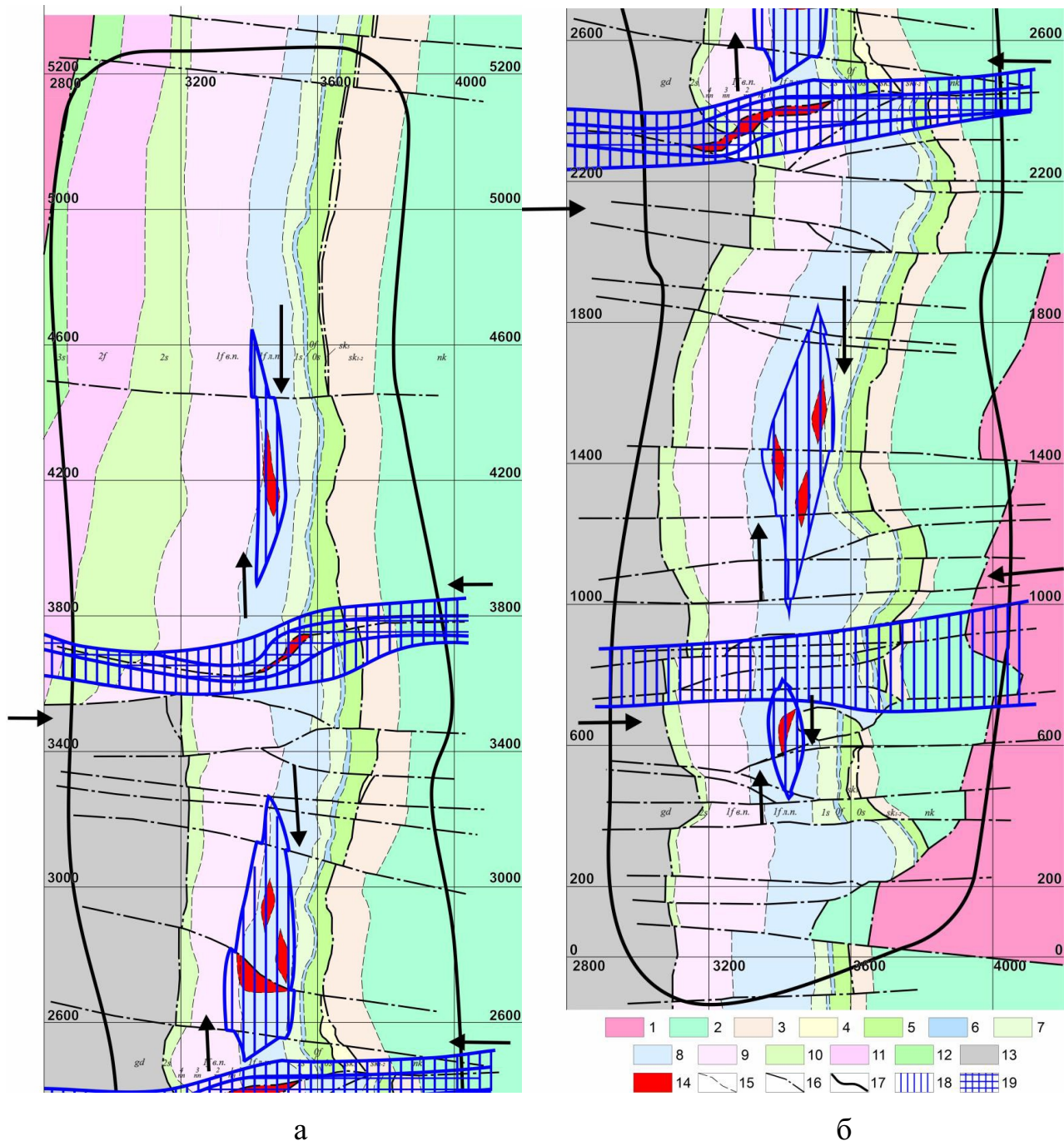


Рис. 4.18. Карта тектонічної порушеності масивів руд і гірських порід північної (а) та південної (б) частин Ганнівського родовища (Євтехов та ін., 2019; Євтехов та ін., 2020).

Стратиграфічні підрозділи та мінеральні різновиди руд і гірських порід: 1 – гранітоїди дніпропетровського комплексу; 2-13 – криворізька серія: 2 – амфібо-

Продовження рис. 4.18.

літи та метакластоліти новокриворізької світи; 3 – кварцити мусковітові та сланці кварц-мусковітові скелюватської світи; 4 – сланці тальк-вмісні скелюватської світи; 5-12 – саксаганська світа: 5 – сланці гранат-біотит-кварц-кумінгтонітові нульового сланцевого горизонту; 6 – кварцити магнетит-силікатні нульового залізного горизонту; 7 – сланці гранат-хлорит-біотит-кварц-кумінгтонітові першого сланцевого горизонту; 8 – кварцити залізнослюдко-магнетитові, магнетитові, силікат-магнетитові лежачої пачки першого залізного горизонту; 9 – кварцити магнетит-силікатні висячої пачки першого залізного горизонту; 10 – кварцити магнетит-силікатні з проверстками кварц-силікатних сланців другого сланцевого горизонту; 11 – кварцити магнетит-силікатні другого залізного горизонту; 12 – кварцити магнетит-силікатні з проверстками кварц-силікатних сланців третього сланцевого горизонту; 13 – кварцити силікатні, сланці та доломітові мармури гданцівської світи; 14 – брекчії, катаклазити, мілоніти; 15 – лінії контактів мінеральних різновидів руд і гірських порід; 16 – розривні порушення; 17 – контур кар'єру; 18-19 – ділянки помірної (18) та інтенсивної (19) тектонічної порушеності руд і гірських порід.

Стрілками показані напрямки тектонічних напружень при формування зон брекчіювання, катаклазування, мілонітизації руд і вмісних гірських порід.

За результатами кількісних підрахунків видно, що за петрографічним складом продуктивної та вміщуючих товщ тектонічні блоки родовища відрізняються за кількістю брекчіюваних, катаклазованих руд і порід (максимальна характерна для південно-східного блоку), порід третього-п'ятого сланцевого горизонту (максимальна – для південно-східного), магнетит-силікатних кварцитів сьомого сланцевого та сьомого залізного горизонту (максимальна – для західного блоку). Враховуючи це, найбільша стійкість гірничих масивів при буровибухових та добувних роботах характерна для західного блоку, проміжна – для північно-східного, мінімальна для південно-східного.

В межах Ганнівського родовища виділені 4 тектонічних блоки:

– південний, який у південній частині обмежений серією субширотних розривних порушень, прояв яких спричинив практично повне виклинювання продуктивної товщі родовища; в північній частині його межею також є серія субширотних розривних порушень системи Девладівського глибинного розлому; продуктивна товща в центральній частині блоку містить декілька тіл брекчій, катаклазитів, утворення яких пов'язане з діяльністю одного з опіряючих розривних порушень субмеридіонального Криворізько-Кременчуцького розлому;

Таблиця 4.9.

Кількісні співвідношення (об'ємн.%) мінеральних різновидів руд і гірських порід у складі тектонічних блоків Первомайського родовища (*Evtekhov, Tikhlivets, Tikhlivets, Urin, 2022; Євтехов та ін., 2019; Євтехов та ін., 2020*)

Мінеральні різновиди руд і порід	Тектонічні блоки		
	північно-східний	південно-східний	західний
кварцити залізнослюдко-магнетитові та магнетит-залізнослюдкові	2,3	1,1	2,2
кварцити магнетитові червоношаруваті	28,8	24,6	31,9
кварцити магнетитові сірошаруваті	6,8	5,1	7,3
кварцити кумінгтоніт-магнетитові	11,7	8,7	2,8
кварцити магнетит-кумінгтонітові	2,9	3,1	1,1
сланці та безрудні кварцити третього-п'ятого сланцевого горизонту	14,6	21,8	0,6
кварцити магнетит-силікатні сьомого сланцевого горизонту	2,3	4,2	20,2
кварцити магнетит-силікатні сьомого залізного горизонту	1,9	2,3	10,7
мармури доломітові гданцівської світи	0,3	0	0,8
брекчії, катаклазити, мілоніти	12,5	17,9	11,3
метасоматити егіринові	1,8	0,9	1,2
метасоматити рибекітові	10,6	6,5	7,4
кварцити магнетитові окварцовані	1,1	0,9	1,2
кварцити магнетитові гіпергенно змінені	2,4	2,9	1,3
Загалом	100,0	100,0	100,0

– центральний (південна частина), з півночі та з півдня обмежена системами субширотних розривних порушень, які також відносяться до опіряючих Девладівського глибинного розлому; в центральній частині блоку присутні лінзоподібні тіла брекчій, катаклазитів субмеридіонального простягання, утворення яких автори пов'язують (Євтехов, 1997; Євтехов та ін., 1976) із активністю Криворізько-Кременчуцького глибинного розлому;

– центральний (північна частина) за розмірами та будовою подібний до центрального (південна частина);

– північний, з півдня обмежений субширотною системою розломів, з півночі – межею гірничого відводу кар'єру; характеризується мінімальним для родовища проявом розривних порушень.

За даними геологічних, мінералогічних, петрографічних досліджень забоїв кар'єру було визначене кількісне співвідношення мінеральних різновидів руд і гірських порід у складі тектонічних блоків (табл. 4.10).

Результати підрахунків показали, що за петрографічним складом продуктивної та вмісних товщ тектонічні блоки Ганнівського родовища відрізняються незначною мірою.

Таблиця 4.10.

Кількісні співвідношення (об'ємн.%) мінеральних різновидів руд і гірських порід у складі тектонічних блоків Ганнівського родовища

мінеральні різновиди руд і порід	Тектонічні блоки			
	Північний	центральний (північна частина).	центральний (південна частина).	південний
кварцити залізнослюдко-магнетитові та магнетит-залізнослюдкові	9,8	8,8	10,7	12,1
кварцити магнетитові червоношаруваті	15,3	18,4	18,1	17,2
кварцити магнетитові сірошаруваті	6,3	7,1	7,3	6,9
кварцити кумінгтоніт-магнетитові	5,2	6,6	6,1	6,3

Продовження табл. 4.10

кварцити магнетит-кунінгтонітові	3,9	4,1	3,6	3,4
сланці та силікатні кварцити першого сланцевого горизонту	6,9	6,6	5,8	6,3
кварцити магнетит-силікатні нульового залізного горизонту	2,7	2,3	1,6	1,8
сланці та силікатні кварцити нульового сланцевого горизонту	8,2	6,9	6,2	5,8
кварцити магнетит-силікатні першої підпачки висячої пачки	10,4	9,1	6,9	6,2
кварцити магнетит-силікатні другої підпачки висячої пачки	11,6	7,9	8,3	7,8
брекчії, катаклазити, мілоніти	5,4	7,1	9,8	8,5
метасоматити егіринові	1,8	2,7	3,3	4,2
метасоматити рибекітові	4,9	8,5	8,4	9,6
кварцити окварцовані магнетитові	1,1	2,6	2,8	3,1
кварцити магнетитові гіпергенно змінені	6,5	1,3	1,1	0,8
Загалом	100,0	100,0	100,0	100,0

Це пояснюється близьким кількісним співвідношенням руд і порід виділених 15 різновидів по субмеридіональному простяганню продуктивної та вмісних товщ. Субширотні розривні порушення розділяють родовище на 4 приблизно рівних за розміром і петрографічним складом тектонічних блоки.

Загальні закономірності зміни складу блоків такі:

– ступінь тектонічних перетворень руд і порід (брекчіювання, катаклазування, мілонітизація) у межах виділених блоків поступово зменшується в напрямку від південної до північної частини родовища;

– кількість метасоматично змінених (егіринізованих, рибекітизованих, окварцованих) руд в цьому напрямку також зменшується;

– кількість вмісних гірських порід лежачого (сланці, безрудні та малорудні кварцити). та висячого (магнетит-силікатні кварцити), які потрапляють до контуру відпрацювання продуктивної товщі родовища, в напрямку з півдня на північ зростає;

– вміст у складі продуктивної товщі найбільш високозалізистих руд (магнетит-залізнослюдкові, залізнослюдко-магнетитові, магнетитові червоно- та сірошаруваті кварцити). з півдня на північ зменшується.

Відносна стабільність петрографічного складу тектонічних блоків та неоднорідність прояву диз'юнктивних процесів обумовлює зменшення стійкості гірничих масивів кар'єру Ганнівського родовища при виконанні буровибухових і добувних робіт в напрямку з півночі на південь.

На прикладі Первомайського родовища, було побудовано 3D модель з виділенням тектонічно нестабільних ділянок з різним проявом їх інтенсивності (розділ 5, рис. 5.3).

4.4. Гідрогеологічний фактор

Як відомо, в межах Ганнівського та Первомайського родовищ фіксуються три водоносних горизонти (*Євтехов та ін., 2020; ДніпроГІИИТИЗ, 2004; Мещерякова, 1990; КГПП, 2008*), з яких тільки вплив на стійкість бортів кар'єрів мають водопритоки водоносного горизонту тріщинуватих кристалічних порід докембрію (*Бубнова, 2017; Бубнова, 2007*).

Стратиграфічна позиція першого – верства лесоподібних суглинків четвертинного віку потужністю 6-12 м. Він характеризується максимальним водонаповненням протягом осені-зими-весни. Підстеляючою товщею є верства червоно-бурих глин і суглинків кімерійського віку потужністю 6-20 м, перекриваючою – ґрунтово-рослинний шар. У межах ділянок поблизу кар'єру горизонт практично повністю задернований. Глибини залягання рівня ґрунтових вод на вододільних ділянках 5-7 м. Коефіцієнт фільтрації 0,02-1,07 м/добу, середній показник 0,33 м/добу. Потік ґрунтових вод спрямований до ділянок розвантаження:

балок Приворотна, Петрикова. Мінералізація вод 1,5-8 г/дм³, алювіальних відкладів – 0,5-1,0 г/дм³.

Водоносний горизонт верстви полтавських пісків, супісків, піщанистих глин неогену перекритий товщею кімерійських червоно-бурих глин, залягає на осадових утвореннях бучацького віку (глини, суглинки з лінзами бурого вугілля), а за їх відсутності – на корі вивітрювання докембрійських порід. Має локальне поширення. На відстані 0,5-1 км навколо обох кар'єрів горизонт задернований. На віддаленні від нього, наприклад, у межах ділянок, прилеглих до хвостосховища, води горизонту напірні, величина напору коливається в межах 2,8-28,6 м. Глибина залягання рівня ґрунтових вод від 4 до 33 м. Мінералізація вод полтавського горизонту становить 4-6 г/дм³.

Водоносний горизонт тріщинуватих кристалічних порід докембрію має повсюдне поширення на глибину до 500 м. На більших глибинах рудий породи практично безводні за винятком зон тектонічних порушень. Сформований підземними водами тріщинуватих, пористих порід кори вивітрювання та невивітрених тріщинуватих порід докембрійського віку. Вода практично прісна, мінералізація її становить 1-2,5 г/дм³. Цей водоносний горизонт є головним джерелом водопритоків до кар'єрів.

Вода всіх водоносних горизонтів змішується в донній частині кар'єрів, звідки відпомповується.

При виконанні госпдоговірної роботи (Євтехов та ін., 2020), співавтором якої був дисертант, проводились дослідження обводнення прибортових гірничих масивів кар'єрів. Було зафіксовано ділянки витікання води, виділено території з інтенсивним, помірним, слабким зволоженням руд і порід (рис. 4.19, 4.20).

За отриманими даними гідрогеологічних досліджень у кар'єрах видно, що основне обводнення гірничого масиву в межах прибортових частин спостерігається в північно-західній, західній та південно-західній частинах Первомайського кар'єру. Це обумовлено наявністю значної кількості притоків в гіпергенних, тріщинуватих, брекчійованих різновидів порід в межах розривних порушень. Проаналізувавши розташування п'єзоізогіпс водоносного горизонту кори вивітрювання родовища та на-

прямки тріщинуватості його кристалічних порід, було зроблено припущення, що рух підземних вод на цій території відбувається з північного заходу на південний схід, що збігається з напрямком видовження кар'єру, і, відповідно, впливає та стійкість його бортів.

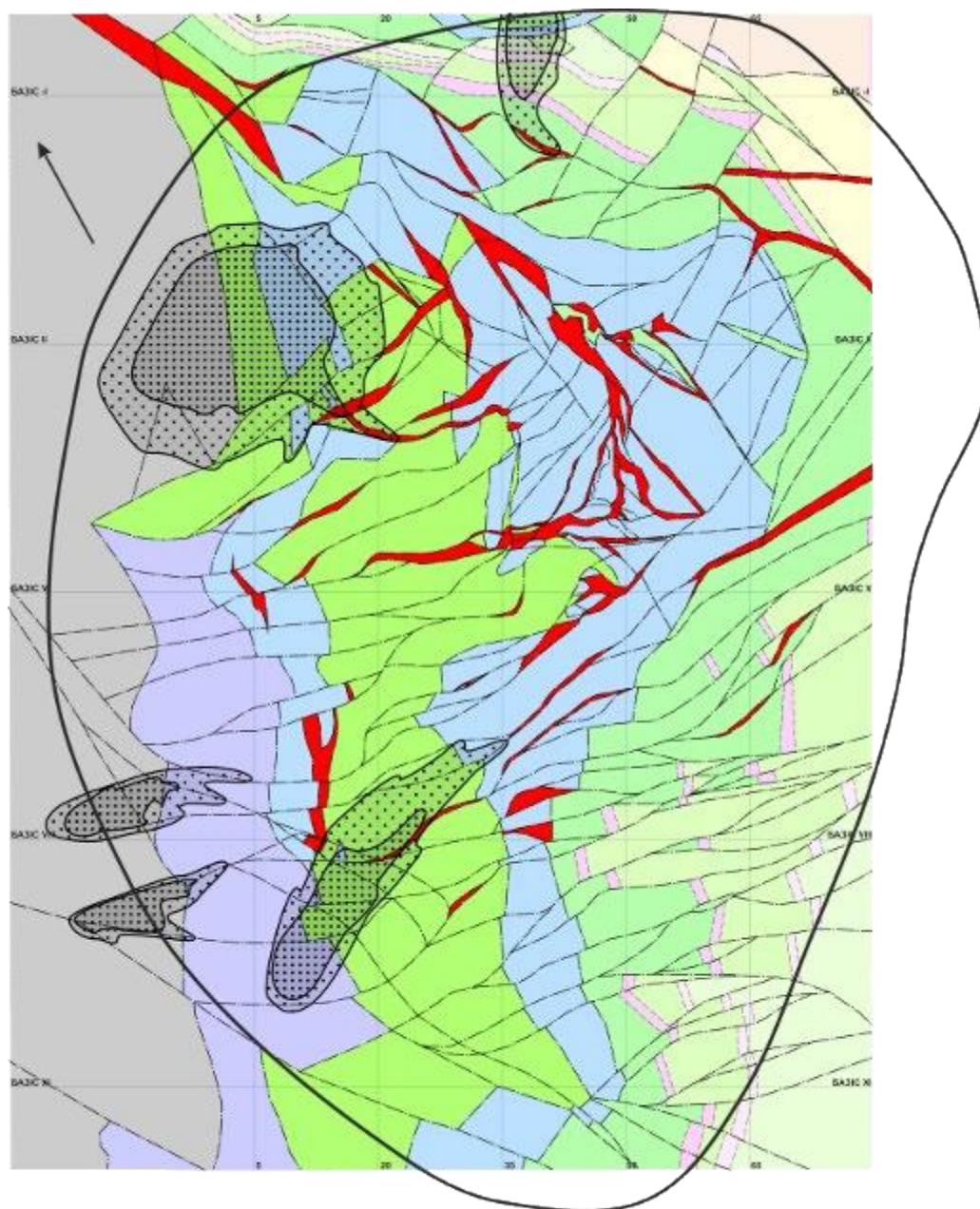


Рис. 4.19. Карта поширення ділянок обводнення руд і гірських порід розкритої частини Первомайського родовища (Євтехов та ін., 2020).

Умовні позначення 1-15 див. рис. 4.17.

16 – зони помірного обводнення; 17 – зони сильного обводнення руд і порід.

В західній частини Первомайського кар'єру фіксуються ділянки з підвищеною вологістю, водотоками, при цьому в цій частині вода повинна перенаправлятися до ставка-акумулятора за допомогою дренажної системи. Така ситуація негативно впливає на стійкість гірничих масивів західного борту кар'єру, що потребує заходів для запобігання зменшення значень показника вологості.

В межах Ганнівського родовища теж проявлені ділянки підвищеної зволоженості руд і порід, але вони більше обумовлені наявністю зон розривних порушень, до яких ці ділянки й приурочені (рис. 4.20).

Як видно з рис. 4.20, в межах західного та східного бортів Ганнівського кар'єру фіксуються ділянки підвищеного обводнення. В північній та південній частинах родовища їх кількість менша. Найбільш чутливі до збагачення вологою від атмосферних і підземних вод є: лесоподібні суглинки, суглинки, піскуваті глини, піски та вивітрені кристалічні породи. При накопиченні в собі вологи за період збільшення кількості опадів, гірничі масиви, якими вони складені, стають нестійкими до навантажень, що веде до суттєвого зменшення стійкості бортів.

Колективом науковців в межах госпдогвірної роботи (Євтехов та ін., 2020) були проведені дослідження впливу води на мінералогічні різновиди руд і порід обох родовищ. Адже при контакті з водою мінерали зазнають певних змін в хімічному складі та фізичних властивостях (Євтехов та ін., 2020).

За результати експериментів були виявлено (Євтехов та ін., 2020), що перебування руд і порід в зволжених умовах призводить до зменшення показників міцності за М.М.Протод'яконовим, це було зафіксовано для усіх досліджених руд і порід.

Найменших змін зазнали магнетитові та залізнослюдко-магнетитові кварцити. Силікат-вмісні руди й породи активно зазнавали процесів гідратації. Зафіксовано, що найбільшим змінам піддалися мусковіт-вмісні кварцити та сланці, де мусковіт сумісно з процесами гідратації розчинявся, втрачаючи з кристалічної ґратки катіони калію. Менших змін зазнали кумінгтоніт-вмісні руд і гірських порід, це пояснюється відсутністю у їх складі або низьким вмістом лугів.

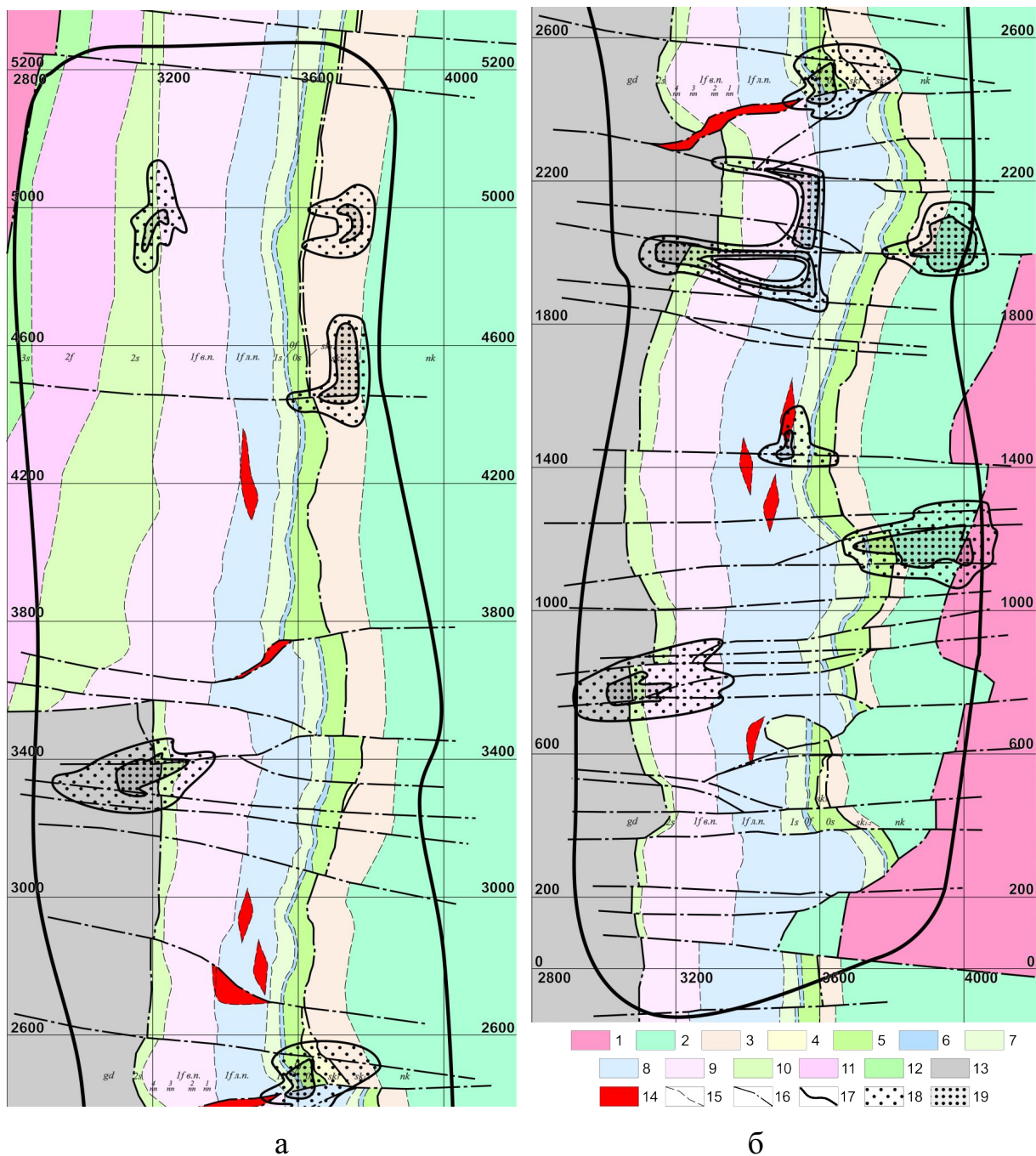


Рис. 4.21. Карта поширення ділянок обводнення руд і гірських порід у межах північної (а) та південної (б). частин Ганнівського родовища (Євтехов та ін., 2020).

Умовні позначення 1-17 наведені в рис. 4.18

18 – зони помірного обводнення; 19 – зони сильного обводнення руд і порід.

На прикладі Первомайського родовища, було побудовано 3D модель з виділенням відповідних ділянок обводнення руд та вміщуючих порід (розділ 5, рис. 5.4).

Висновки

Під впливом води відбуваються зміни мінералів, які складають руди й породи, головним чином, їх гідратація та часткове або повне розчинення. Обидва процеси викликають заміщення первинних метаморфогенних мінералів новоутвореними мінералами та мінеральними агрегатами з більшою рихлою структурою, зростанням пористості руд і порід. Наслідком є зменшення їх механічної стійкості.

4.5. Фізичні, технічні властивості руд

Вище описані геологічні процеси, в результаті яких утворились і зазнали епігенетичних змін продуктивні товщі обох родовищ. Перебіг та інтенсивність прояву процесів напряду впливають на фізичні та технічні властивості руд та вміщуючих порід (Євтехов та ін., 2018а; Євтехов та ін., 2018; Тіхлівець та ін., 2018). Як наслідок, на стійкість бортів кар'єрів. Визначення фізичних і технічних параметрів виконувалось для всіх виділених в межах родовищ різновидів порід і руд (додаток В) (Тіхлівець, Тіхлівець, 2021) у відповідності до апробованих методик (Євтехов та ін., 2018а; Євтехов та ін., 2018; Тіхлівець та ін., 2018).

У зв'язку з близькістю мінерального та хімічного складу, будовою продуктивної та вміщуючих товщ родовищ, автор проаналізував фізичні та технічні показники на прикладі Ганнівського родовища (Тіхлівець, Тіхлівець, 2021). Усереднені дані наведено в таблиці 4.11.

За отриманими результатами видно, що показники густини та об'ємної маси значно вищі в сингенетичних (густина 3,51-3,86 г/см³; об. маса 3,40-3,82г/см³) та епігенетичних (густина 3,68-3,89 г/см³; об. маса 3,57-3,85г/см³) залізистих кварцитах продуктивної товщі Ганнівського родовища, ніж сланців (густина 2,94-3,07 г/см³; об. маса 2,91-3,03 г/см³) та безрудних (густина 3,33-3,44 г/см³; об. маса 3,18-3,34 г/см³) кварцитів. Це явище можна пояснити текстурними особливостями руд та вміщуючих порід.

Таблиця 4.11.

Середні показники фізичних та технічних параметрів руд продуктивної та вміщуючих товщ Ганнівського родовища

№ з/п	Назви порід	Фізичні та технічні показники			
		Густина, г/см ³	Об'ємна маса, г/см ³	Пористість, %	Міцність, од.
1.	Кварцити магнетит-залізнослюдкові, залізнослюдко-магнетитові	3,86	3,82	0,95	16,3
2.	Кварцити магнетитові червоношаруваті	3,76	3,72	1,07	18,4
3.	Кварцити магнетитові сірошаруваті	3,69	3,64	1,18	18,1
4.	Кварцити кумінгтоніт-магнетитові	3,51	3,46	1,33	16,5
5.	Кварцити магнетит-кумінгтонітові	3,44	3,40	1,26	16,1
6.	Сланці та безрудні кварцити першого сланцевого горизонту	2,94	2,91	1,24	12,2
7.	Кварцити магнетит-силікатні нульового залізного горизонту	3,23	3,18	1,34	17,1
8.	Сланці та силікатні кварцити нульового сланцевого горизонту	3,07	3,03	1,29	11,9
9.	Кварцити магнетит-силікатні першої підпачки висячої пачки	3,33	3,27	1,70	17,3
10.	Кварцити магнетит-силікатні другої підпачки висячої пачки	3,39	3,34	1,47	16,9
11.	Брекчії, катаклазити, мілоніти	3,68	3,57	2,90	13,4
12.	Метасоматити егіринові	3,89	3,85	0,94	21,0
13.	Метасоматити рибекітові	3,75	3,70	1,25	17,3
14.	Кварцити магнетитові окварцовані	3,65	3,61	1,18	22,7
15.	Кварцити магнетитові гіпергенно змінені	3,80	3,71	2,54	13,4

Зворотній зв'язок спостерігається для показників пористості та міцності. Найменші показники пористості характерні для залізнослюдко-магнетитових, магнетит-

залізнослюдкових кварцитів та для натрієвих (рибекітових та егіринових) метасоматитів, що обумовлено умовами їх утворення (Светхов та ін., 2020; Карпенко, 2011).

Отримані дані були порівнянні з результатами визначення хімічного складу руд родовища (Тіхлівець, Тіхлівець, 2021). Високими позитивними значеннями коефіцієнту кореляції (r понад 0,95) характеризується зв'язок між показниками хімічного складу та густини, об'ємної маси руд і порід (рис. 4.22.), що пояснюється значним вмістом у їх складі оксидів заліза (магнетиту та гематиту), які характеризуються високими показниками густини (близько 5,2 г/см³).

Особливістю руд і вмисних гірських порід родовища є значна варіативність показників пористості, обумовлена різною тріщинуватістю руд і порід та їх шаруватою текстурою з різною кількістю мікропорожнин у кварцових (нерудних), кварц-магнетитових (рудних) і силікатних прошарках. Це є причиною низьких значень коефіцієнтів парної кореляції r між значеннями показників пористості та об'ємної ваги, густини (рис. 4.22 а).

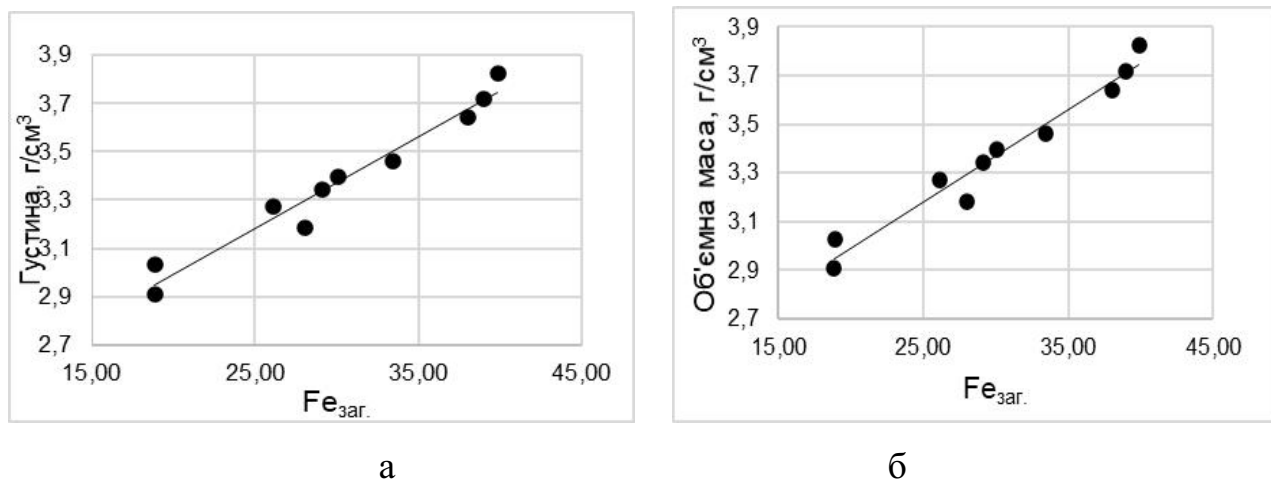


Рис. 4.22. Залежність густини (а) і об'ємної маси (б) від загального вмісту заліза в складі сингенетичних руд і порід Ганнівського родовища.

В свою чергу значні межі коливання показників пористості руд і порід, їх відмінність за показниками текстури обумовили відносно низький рівень позитивного кореляційного зв'язку між параметрами їх хімічного складу та міцності (рис. 4.23 б).

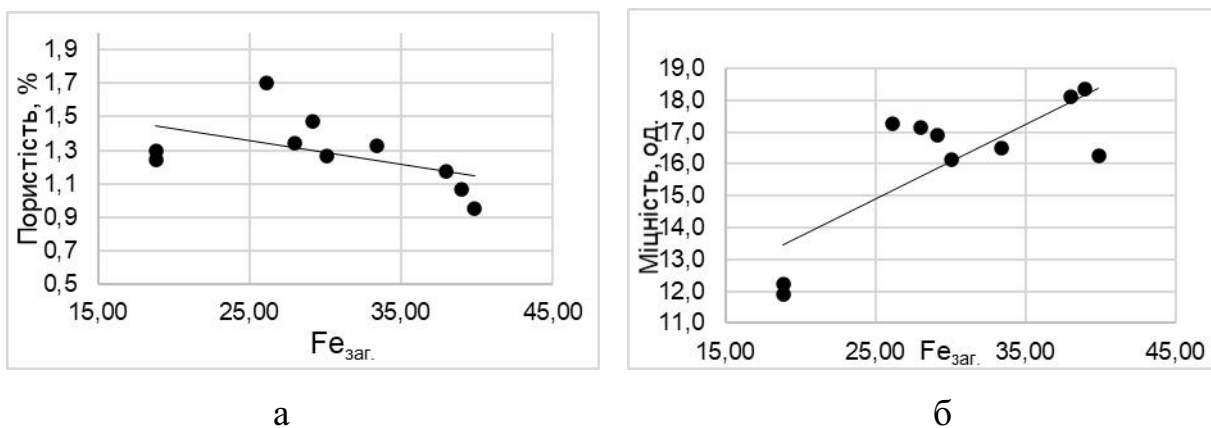


Рис. 4.23. Залежність пористості (а) й міцності (б) від загального вмісту заліза сингенетичних руд і порід Ганнівського родовища.

Диз'юнктивні процеси супроводжувались дезінтеграцією руд і порід: тріщиноутворенням, брекчіюванням, катаклазуванням, мілонітизацією. Зі зростанням ступеню дроблення та подрібнення суттєво зростала їх пористість та зменшувалась густина, об'ємна маса, міцність і, як наслідок, механічна, сейсмічна стійкість.

Натрієвий метасоматоз спричинив егіринізацію, рибекітизацію, окварцування первинних магнетитових кварцитів. Часткове винесення кремнезему сприяло зростанню густини та об'ємної маси егіринових, рибекітових метасоматитів; перевідкладення мобілізованого кремнезему за межами зон рибекітизації – зменшенню значень цих параметрів у зонах окварцування руд і порід. Натрієвий метасоматоз сприяв заліковуванню тріщин, каверн руд і порід внаслідок виповнення їх епігенетичним кварцом, меншою мірою силікатами, карбонатами, сульфідами; зменшення пористості супроводжувалось підвищенням міцності руд і порід у межах усіх метасоматичних зон.

Вивітрювання супроводжувалось міграцією хімічних компонентів, винесенням з первинних залізистих кварцитів і сланців частини кремнезему та окисного заліза. Наслідком стало значне зростання пористості та зменшення міцності руд і порід. З винесенням частини заліза пов'язане зменшення їх густини та об'ємної маси. Масиви гіпергенно змінених руд і гірських порід відносяться до найменш стійких до дії часового, механічних, сейсмічних факторів.

Таким чином, за фізичними та технічними характеристиками можна виділити наступні групи мінеральних різновидів:

1) міцні – показники фізичних властивостей коливаються: а) міцність в межах 16-18,4 од.; б) пористість – 0,95-1,3 %; в) об'ємна маса – 3,4-3,8 г/см³; г) густина – 3,4-3,9 г/см³.

2) середньої міцності – показники фізичних властивостей коливаються: а) міцність в межах 13-16 од.; б) пористість – 1,3–1,7 %; в) об'ємна маса – 3,0-3,2 г/см³; г) густина – 3,0-3,4 г/см³.

3) не міцні – показники фізичних властивостей коливаються: а) міцність в межах 11-13 од.; б) пористість – 1,7-2,5 %; в) об'ємна маса – 3,1-3,8 г/см³; г) густина – 3,3-3,9 г/см³.

До першої групи можна віднести кварцити магнетит-залізнослюдкові, залізнослюдко-магнетитові; кварцити магнетитові червоно і сірошаруваті; кварцити кумінтоніт-магнетитові, а також їх метасоматичні різновиди. До другої – кварцит-магнетит-кумінтонітові, сланці та безрудні кварцити першого, нульового сланцевих та нульового залізного горизонту. До третьої групи належать кварцити магнетитові гіпергенно змінені.

Крім того, як основне мірило міцності руд і порід на виробництві використовується коефіцієнт міцності f (Євтехов та ін., 2020; Тихливець та ін., 2018). У відповідності до його значенням, руди та породи поділяються на десять категорій за міцністю. Перша включає породи з найбільшим показником коефіцієнту міцності ($f > 20$), відповідно, десять – з його мінімальним значенням ($f < 0,3$).

Для визначення міцності порід за шкалою М.М.Протод'яконова використовують різні методики. Для виконання даних досліджень в межах госпдоговірної роботи (Євтехов та ін., 2020) використовувалась розроблена Науково-дослідним гірничорудним інститутом (НДГРІ) методика визначення коефіцієнту міцності порід способом дроблення (ГОСТ 21153.1- 75) (Євтехов та ін., 2018а; Євтехов, 2018б).

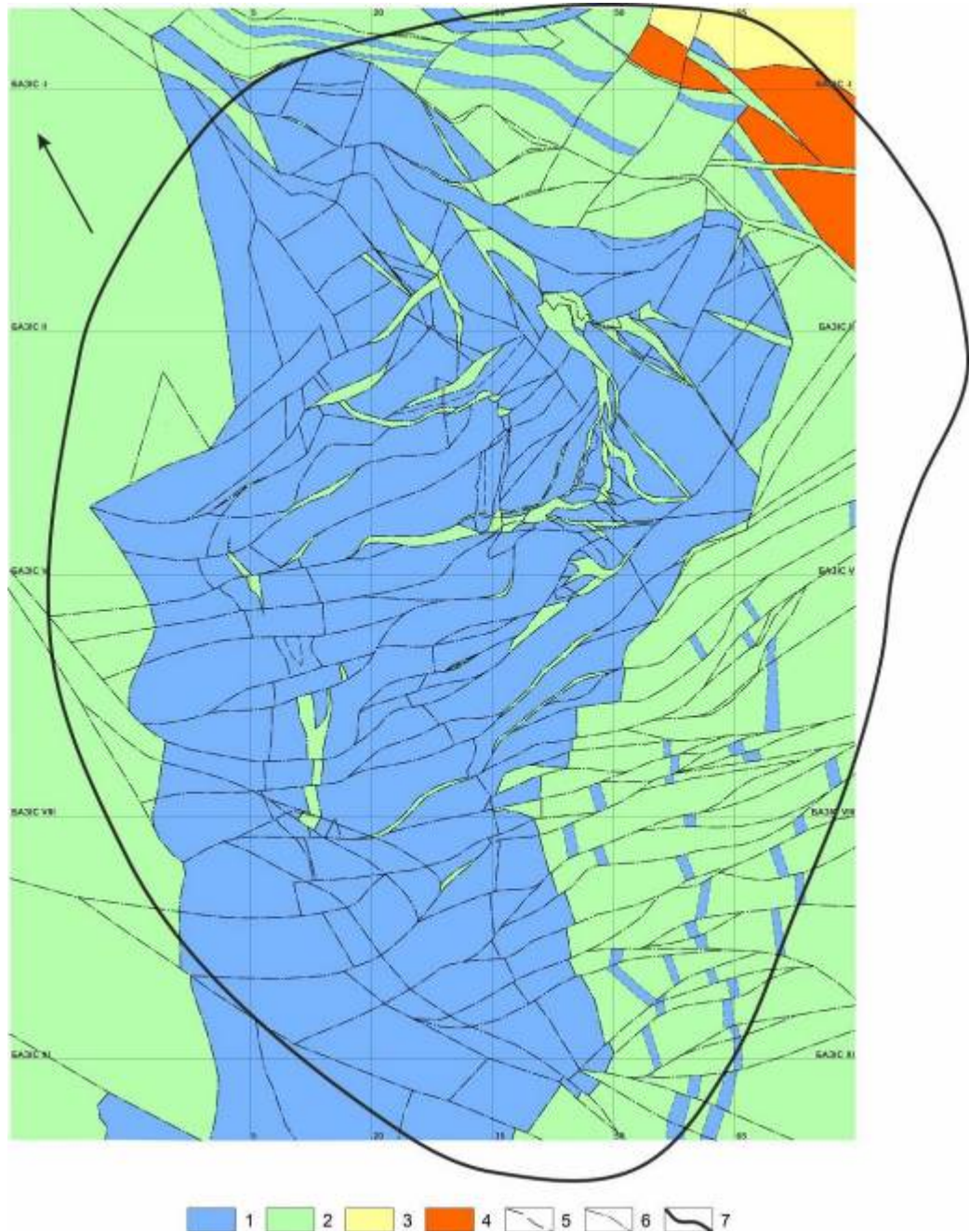


Рис. 4.24. Карта міцності порід Первомайського родовища.

1-4 – руди та гірські породи високої (1), середньої (2), низькою (3) і дуже низькою (4) міцності; 5 – контакти стратиграфічних горизонтів; 6 – розривні порушення; 7 – контур кар'єру

Дроблення матеріалу наважок, робота з отриманими продуктами, розрахунки показників міцності порід виконувались за стандартною методикою (Евтехов та ін., 2018а; Евтехов, 2018б). Результати визначень наведені в табл. 3 (Додаток Г).

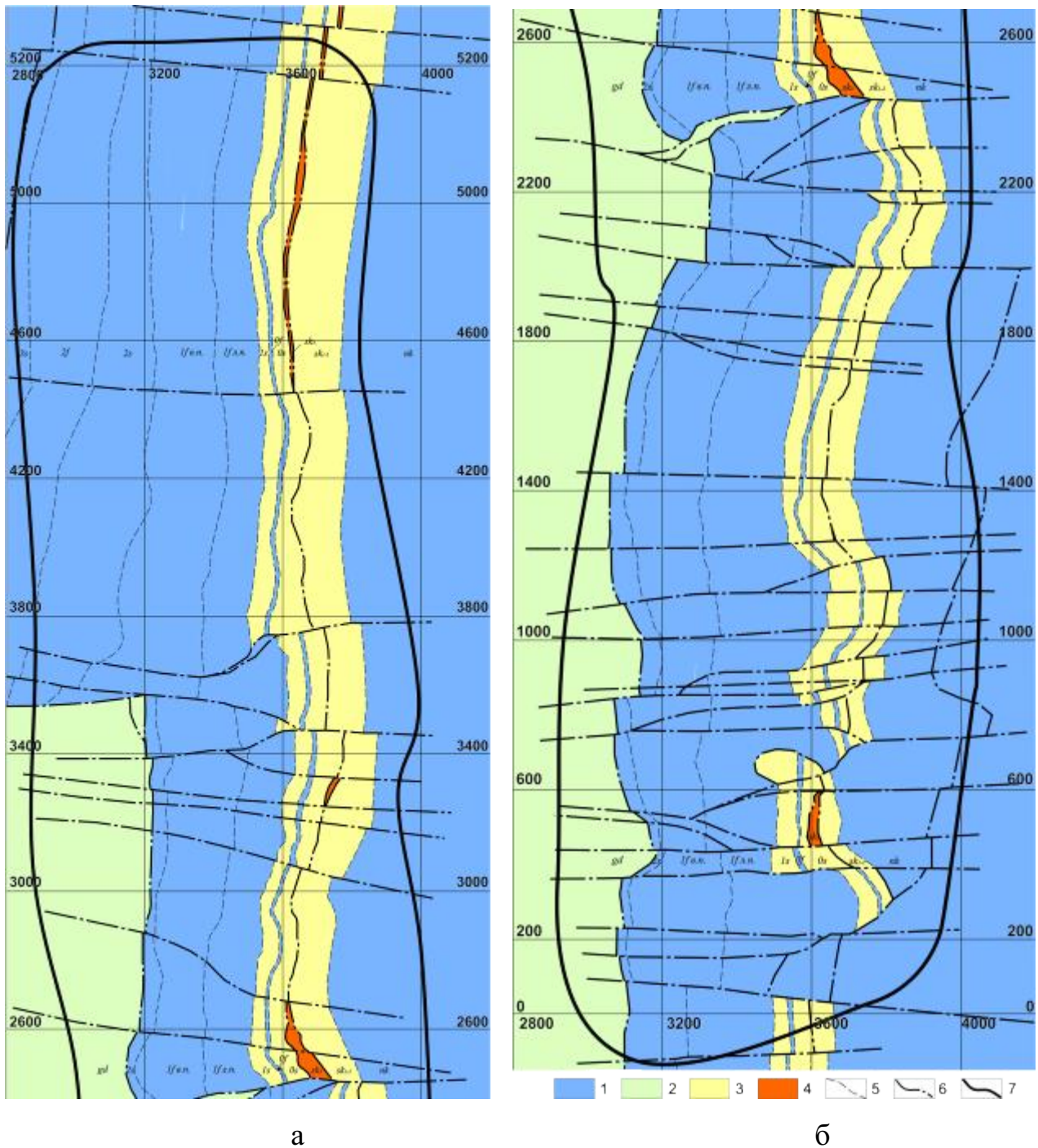


Рис. 4.25. Схематична карта міцності порід Ганнівського родовища (Євтехов та ін., 2020).

1-4 – руди та гірські породи високої (1), середньої (2), низької (3) і дуже низької (4) міцності; 5 – контакти стратиграфічних горизонтів; 6 – розривні порушення; 7 – контур кар'єру.

Аналіз даних таблиці показав, що руди та вміщуючі породи Первомайського та Ганнівського родовищ можна розділити на породи високої міцності з f в і д 15 до 20, помірної – 10-15, низької – 5-10 та дуже низької – менше 5. Відповідно виділені групи руд та порід винесені на карти родовищ, приклад наведений на рис. 4.24, 4.25. Найміцніші (магнетитові, магнетит-силікатні кварцити) розташовані в центральній та західній частинах Первомайського родовища. Ділянки з породами низької та дуже низької міцності фіксуються частіше в східному напрямку від продуктивної товщі.

На прикладі Первомайського родовища, було побудовано 3D модель з виділенням відповідних ділянок з різною міцністю гірничих масивів (розділ 5, рис. 5.5).

Висновки.

Фізичні й технічні властивості магнетитових кварцитів і вмісних гірських порід Ганнівського родовища відносяться до головних чинників механічної, сейсмічної стійкості гірничих масивів. У зв'язку з цим густинні та міцнісні параметри слід враховувати при побудові карти стійкості гірничих масивів обох родовищ.

Розділ 5.

КАРТУВАННЯ ГІРНИЧИХ МАСИВІВ ЗА ПОКАЗНИКАМИ СТІЙКОСТІ

Під час розробки родовищ корисних копалин будь-яким способом відбувається виймання доволі значних гірничих мас. Відповідно відбувається і постійна зміна напружено-деформованого стану масивів, що обумовлено розвантаженням (звільненням) одних ділянок і, відповідно, навантаженням (заповнення) інших. Як наслідок, стає питання постійного моніторингу та контролю стійкості гірничих масивів, задля уникнення небезпечних ситуацій (*Тіхлівець, Тіхлівець, 2023; Тіхлівець, 2023*).

Відкритий метод видобутку рудної маси характеризується використанням будови бортів кар'єрів, які представляють собою динамічні системи (*Шевчук, Лавренюк, Кравченко, 2013*). Вони постійно змінюються у відповідності з розташуванням в межах родовищ, складом порід і, як наслідок, вони мають різний напружено-деформаційний стан. Низька стійкість гірничих масивів обумовлена проявом зсувів, формуванням порожнин, виположування бортів кар'єрів, утворення техногенної тріщинуватості руд і порід тощо.

Основними негативними факторами впливу на стійкість рудних і нерудних покладів є мінливість їх мінерального та петрографічного складу, ускладнена активним проявом розривних порушень геологічна будова, доволі високі показники притоків поверхневих і підземних вод (*Evtekhov, Demchenko, Evtekhov, Tikhlivets, 2022*). При геомеханічному моніторингу напружено-деформованої ситуації необхідно не тільки виділяти ділянки із критичними показниками стійкості, але й виявляти причини їх виникнення для безпеки ведення гірничих робіт. Автором дисертаційної роботи було детально вивчено вплив мінералогічних (*Євтехов, Демченко, Тіхлівець, Євтехов, 2020*), стратиграфічних (*Тіхлівець, Харитонов, Тіхлівець,*

2024), тектонічних (Evtekhov, Tikhlivets, Tikhlivets, Urin, 2022), гідрогеологічних, технічних факторів на стійкість бортів кар'єрів.

Мінералогічний фактор має вплив через фізичні властивості головних і друго-рядних мінералів, в першу чергу, це спайність і твердість за шкалою Ф.Моосом (розділ 4 даної роботи). Наведено, що мінеральний склад та будова продуктивної товщі Первомайського та Ганнівського родовищ схожа. У якості відмінності рудних і породних асоціацій обох родовищ фіксується різне кількісне співвідношення описаних в розділі 4 мінералогічних різновидів. За кількісним співвідношенням мінералів з різною твердістю та різною спайністю було розділено на відповідні групи: високої, помірної, низької та дуже низької стійкості гірничих масивів. За результатами була побудована 3D модель родовища з виділенням відповідних груп (рис. 5.1).

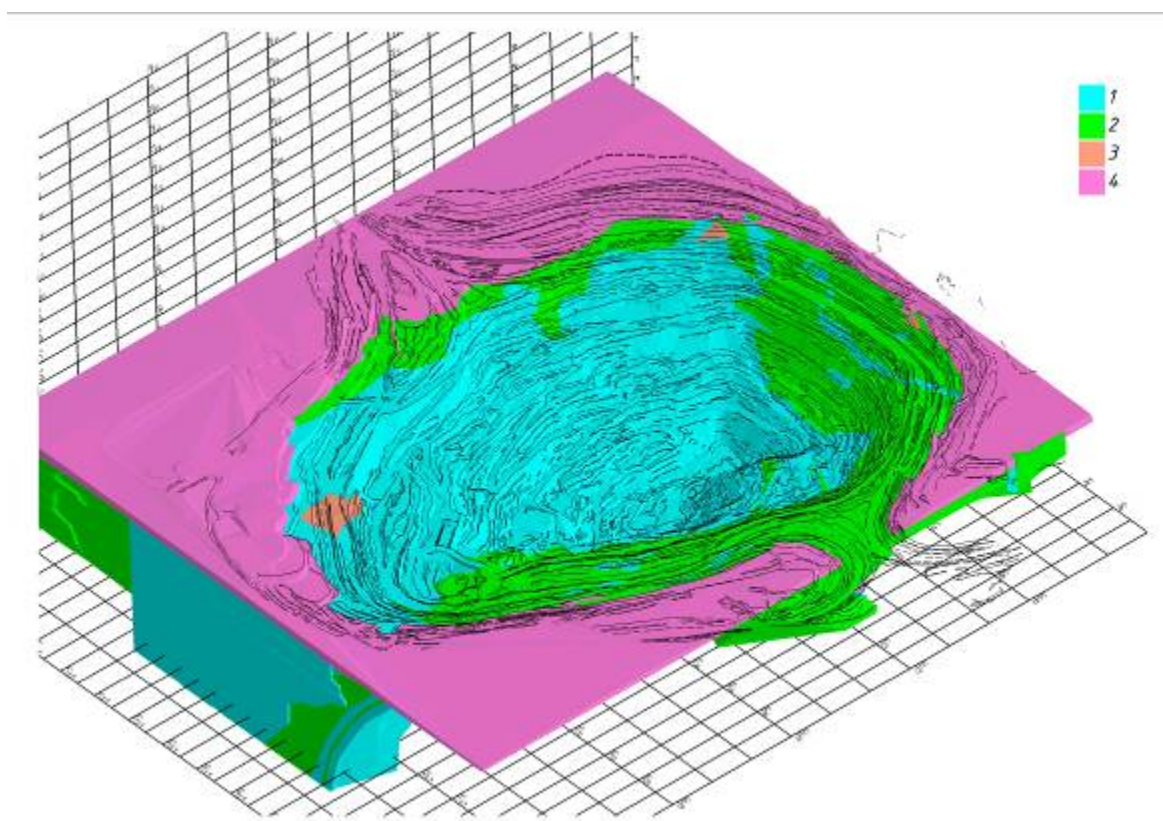


Рис. 5.1. 3D модель карта стійкості гірничих масивів за мінералогічно-технічною класифікацією руд та вмшуючих порід.

1 – міцні різновиди порід; 2 – помірної міцності породи; 3 – низької міцності породи; дуже низької міцності породи.

Стратиграфічні горизонти, світи, підсвіти тощо, які складені цими ж породами забезпечують формування груп за показниками стійкості бортів. За даними мінералогічних та стратиграфічних досліджень була побудована 3D модель Первомайського родовища поширення геологічних тіл з різною стійкістю (табл. 4.9, рис. 5.2).

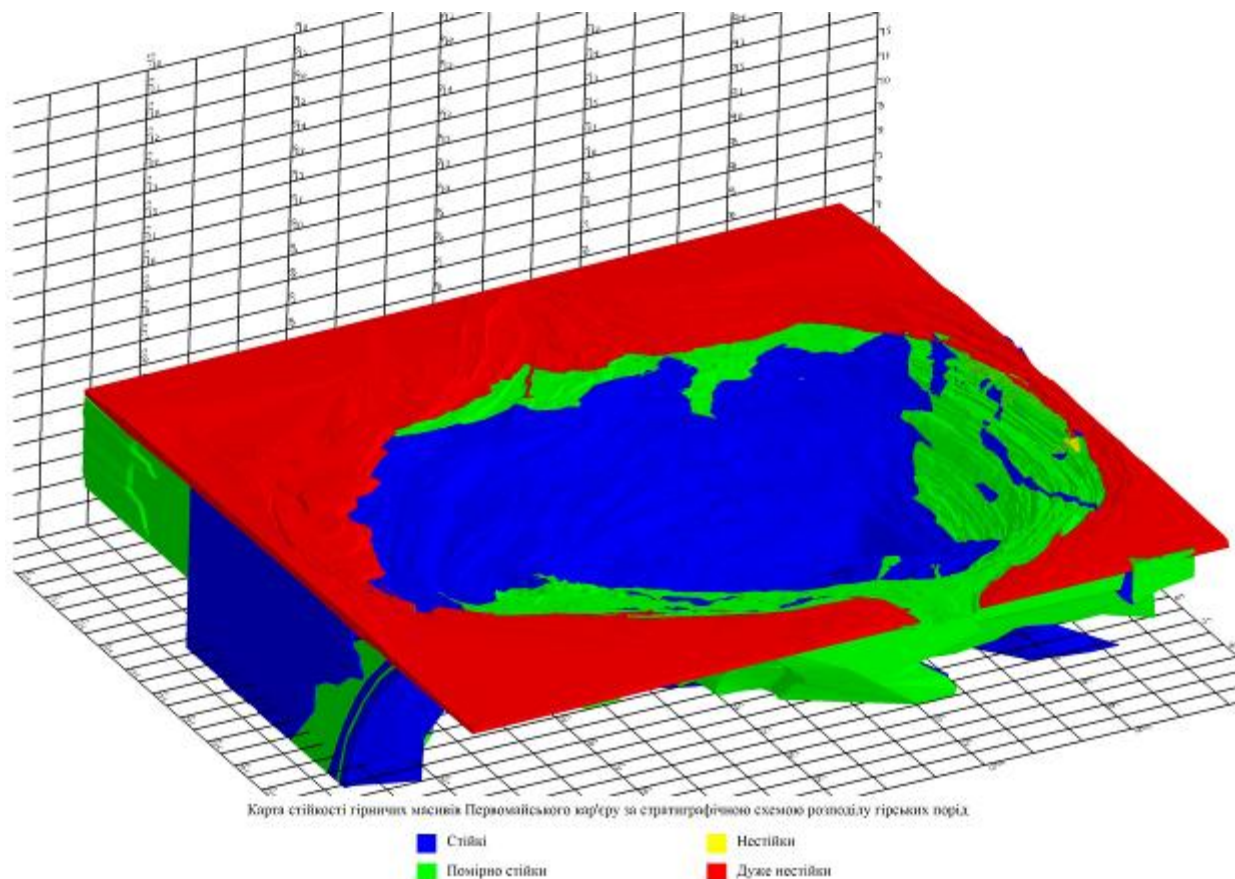


Рис. 5.2. 3D модель Первомайського родовища з виділенням ділянок різних категорій стійкості гірничих масивів за впливом стратиграфічного фактору.

Тектонічний фактор впливу на стійкість гірничих масивів проявлений через виділення ділянок дроблення та подрібнення руд і порід. За інтенсивністю прояву виділені стадії їх механічної дезінтеграції, а саме тріщинування порід, брекчіювання, катаклазування та мілонітизація. Наявність тектонічної тріщинуватості руд і порід суттєво не змінює стійкість бортів, тоді як процеси брекчіювання зменшують категорії стійкості гірничих масивів за даними табл. 4.10, 4.11 на 1 бал, а катаклазування й мілонітизація – на 2 бали.

За результатами впливу тектонічного фактору було побудовано 3D модель поширення геологічних тіл з різним проявом тектонічного розуміщення (рис. 5.3).

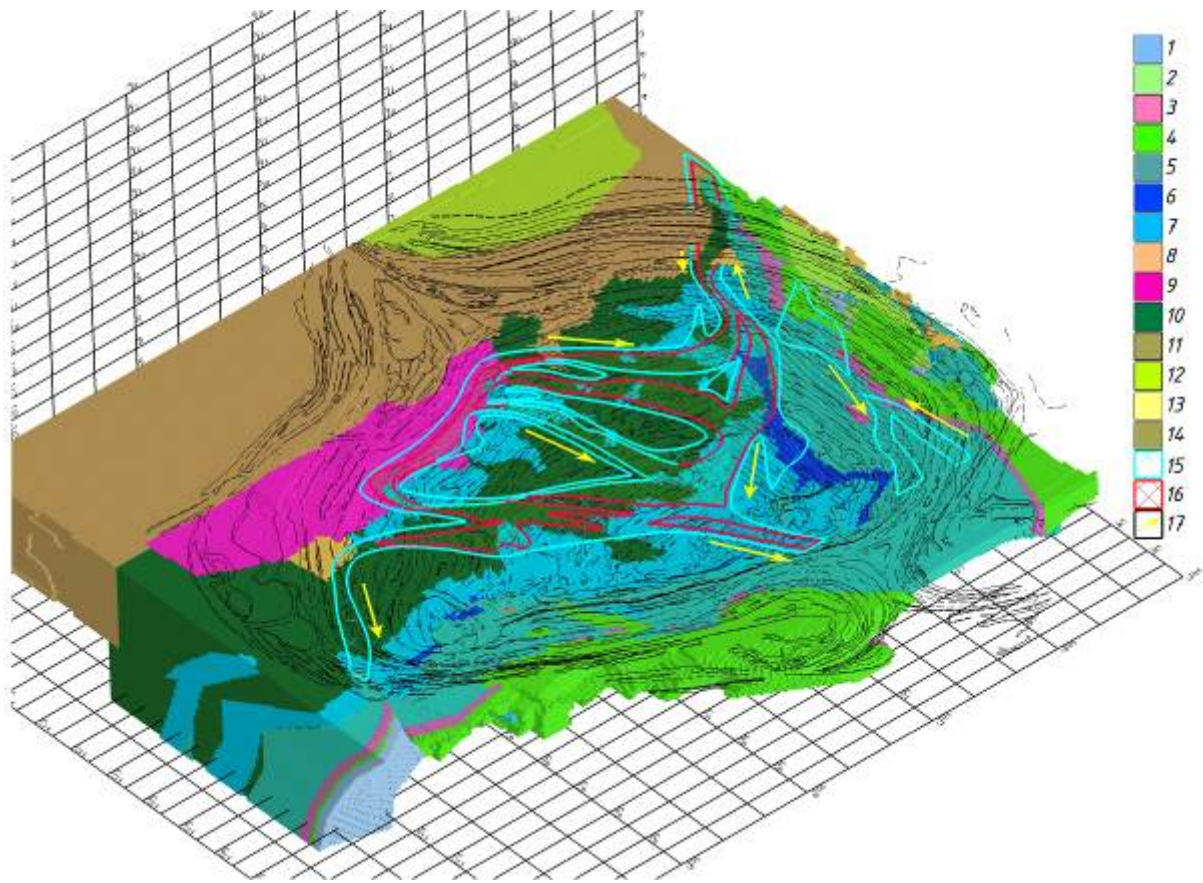


Рис. 5.3. 3D модель тектонічної порушеності масивів руд і гірських порід Перовмайського родовища.

Стратиграфічні підрозділи та мінеральні різновиди руд і гірських порід: 1 – кварцити магнетит-силікатні першого залізного горизонту; 2 – сланці гранат-хлорит-біотит-кварц-кумінгтонітові першого сланцевого горизонту; 3 – кварцити другого залізного горизонту; 4 – сланці другого сланцевого горизонту; 5 – сланці гранат-хлорит-біотит-кварц-кумінгтонітові третього-п'ятого сланцевого горизонту; 6, 7 – кварцити залізнослюдко-магнетитові, магнетитові, силікат-магнетитові п'ятого (6) та шостого (7) залізистих горизонтів; 8 – кварцити шостого залізистих горизонтів, окислені; 9 – кварцити магнетит-силікатні сьомого залізного горизонту; 10 – кварцити магнетит-силікатні сьомого сланцевого горизонту; 11 – кварцити силікатні, сланці та доломітові мармури гданцівської світи; 12 – породи глеюватської світи; 13 – породи кайнозою; 14 – кварцити мускові-

тові та сланцікварц-мусковітові, сланці тальк-вмісні скелюватської світи; 15-16 – ділянки помірної (15) та інтенсивної (16) тектонічної порушеності руд і гірських порід.

Стрілками (17) показані напрямки тектонічних напружень при формування зон брекчіювання, катаклазування, мілонітизації руд і вміщуючих гірських порід.

За отриманими результатами гідрогеологічних досліджень виділені найбільш чутливі до зволоження атмосферними осадами та підземними водами осадові (лесоподібні суглинки, суглинки, піскуваті глини, піски) породи. Верхні горизонти, які складені кайнозойськими відкладами та вивітряними кристалічними породами, за відсутності дренажних систем накопичують в собі значний об'єм вологи, тим самим стають нестійкими до статичних та динамічних навантажень. Як наслідок, стійкість гірничих масивів верхніх кар'єрних укосів суттєво зменшується.

Максимально ділянки обводнення в межах Первомайського кар'єру присутні в північно-західному, західному та південно-західному бортах. В межах Ганнівського родовища такі ділянки приурочені до зон розривних порушень.

На основі даних гідрогеологічних спостережень автором було побудовано модель Первомайського родовища з виділенням поширення ділянок обводнення прибортових частин гірничих масивів кар'єрів (рис. 5.4).

Крім того, стійкість гірничих масивів залежить від фізичних властивостей руд і порід, в першу чергу, від їх міцності, яка визначалась за шкалою М.М.Протод'яконова за участю автора дисертаційної роботи. Отримані результати показали, що руди та породи Первомайського та Ганнівського родовищ поділяються за коефіцієнтом міцності f на породи високої міцності ($f=15-20$ та більше), помірної ($f=0-15$), низької ($f=5-10$) та дуже низької ($f=$ менше 5) міцності.

За побудованою моделлю міцності порід Первомайського (рис. 5.5.) видно, що магнетитові кварцити продуктивних товщ і магнетит-силікатні кварцити західної частини є найбільш міцними. А східні частини представлені, в більшості, породами низької та дуже низької міцності.

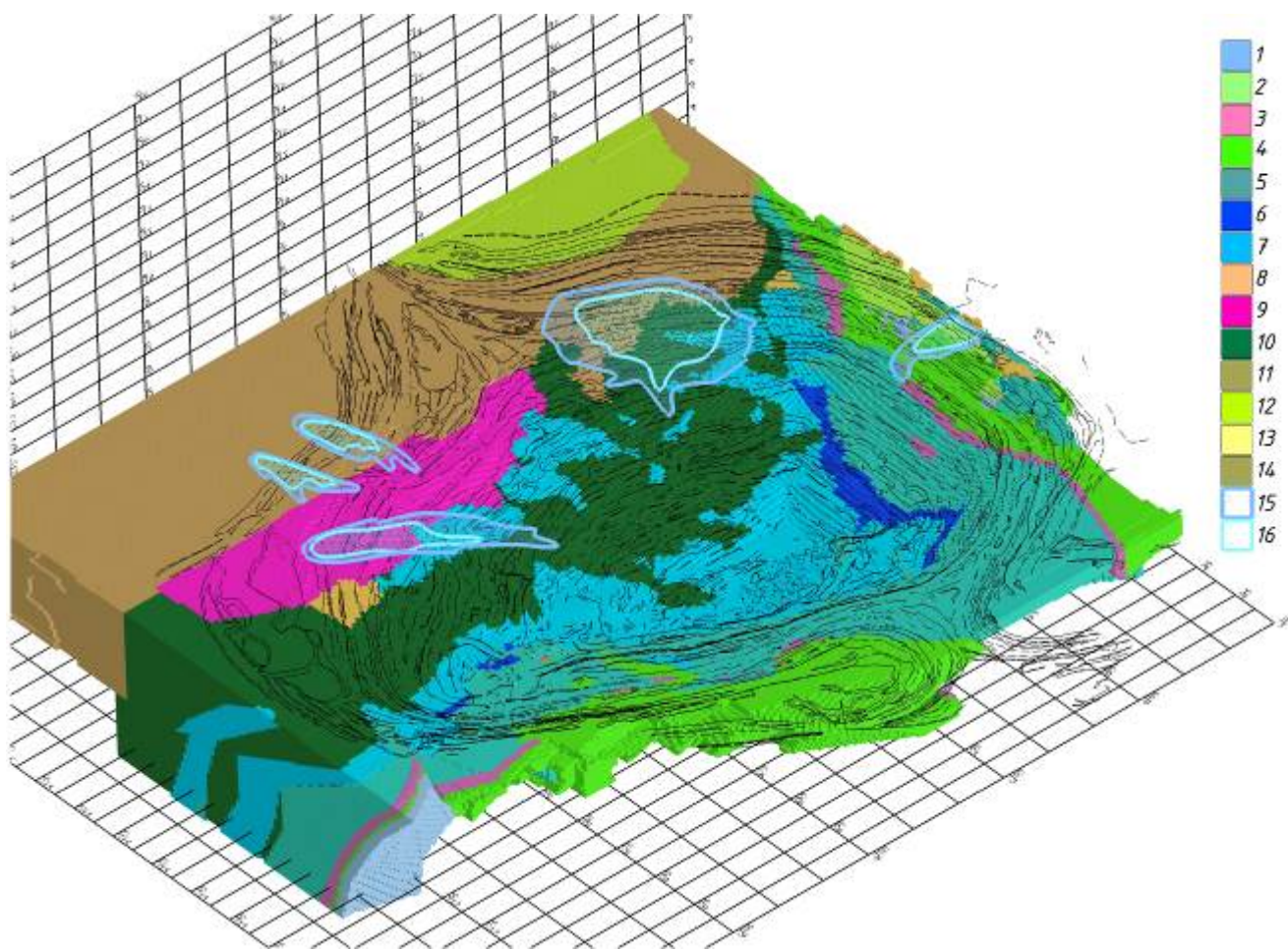


Рис. 5.4. 3D модель поширення ділянок обводнення руд і гірських порід розкритої частини Первомайського родовища.

Умовні позначення 1-14 наведені в рис. 5.3.

15 – зони помірного обводнення; 16 – зони сильного обводнення руд і порід.

Для побудови карт з виділенням ділянок родовищ з різною стійкістю гірничих масивів автором накладалась інформація, отримана при виконанні дисертаційних досліджень.

Побудови 3D моделей стійкості проводились на прикладі Первомайського родовища (рис. 5.6), що обумовлена аналогічністю будови та складу продуктивних та вміщуючих товщ обох родовищ, що детально описано в попередніх розділах (Тіхлівець, Тіхлівець, 2023).

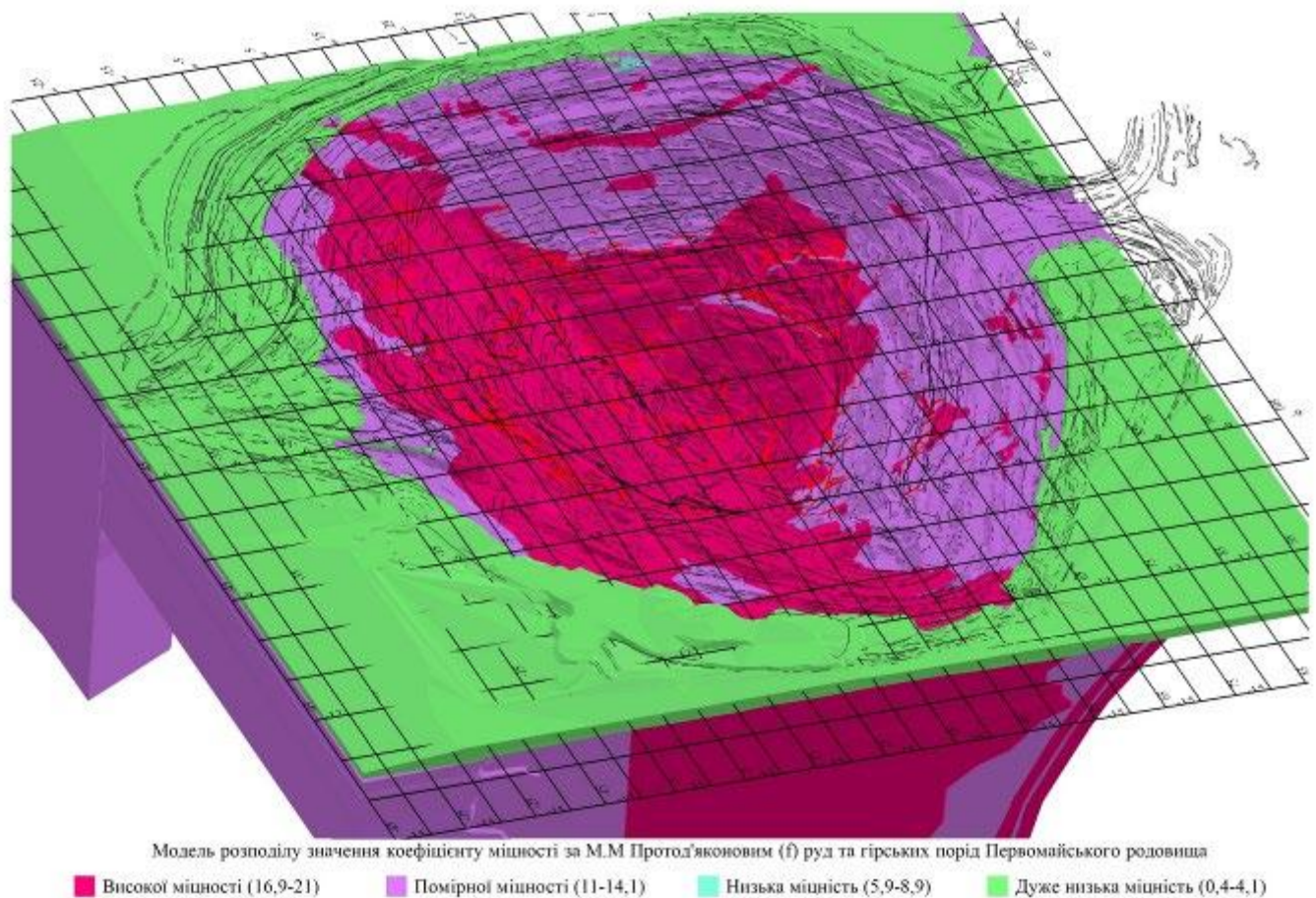


Рис. 5.5. 3D модель Первомайського родовища з виділенням ділянок різної міцності гірничих масивів з урахуванням їх фізичних та технічних властивостей.

Для ділянки Первомайського родовища з мінімальними показниками стійкості гірських масивів характерний спільний прояв дії трьох факторів, а саме міцності руд і порід за коефіцієнтом М.М.Протод'яконова, тектонічної деформації та обводнення. При умові прояву одного або двох геологічних факторів виділені ділянки відносяться до проміжних за стійкістю масивів. Максимальними показниками стійкості характеризуються ділянки, де відсутній прояв дії цих факторів. Останні активніше проявлені в межах Ганнівського родовища.

На рис. 5.6. на прикладі Первомайського родовища наведено модель стійкості гірничих масивів з виділення ділянок комплексного впливу природних факторів.

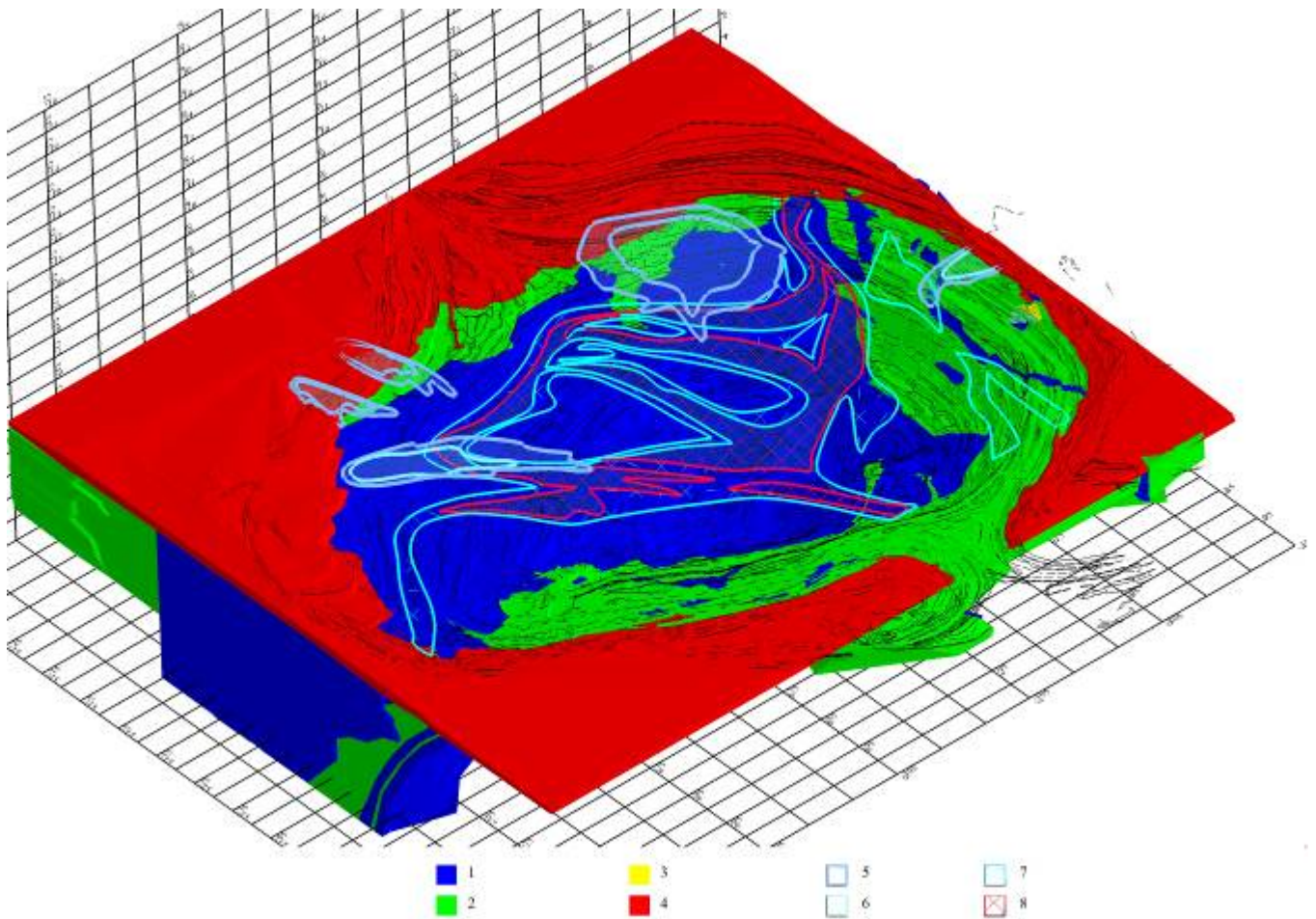


Рис. 5.6. Узагальнена 3D модель стійкості гірничих масивів Первомайського родовища.

1-4 – руди та породи з високою (1), середньою (2), низькою (3) і дуже низькою (4) стійкістю; 5 – ділянки помірного зволоження руд і порід; 6 – ділянки сильного зволоження руд і порід; 7 – ділянки помірного дроблення та подрібнення руд і порід (тріщинуватість, брекчіювання); 8 – ділянки сильного дроблення та подрібнення руд і порід (катаклазування, мілонітизація).

ВИСНОВКИ

За результатами досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Геологічна будова Первомайського та Ганнівського родовища має схожість за мінеральним складом їх продуктивних та вміщуючих товщ. При цьому їх стратиграфічні будови за сучасними уявленнями відрізняються.

2. Мінералогічна будова горизонтів характеризується варіативністю показників, яка обумовлена проявом сингенетичних та епігенетичних процесів. За результатами детального вивчення продуктивної товщі обох родовищ визначено, що головні мінерали (магнетит, кварц, гематит, кумінгтоніт) руд характеризуються високими показниками міцності (твердість за школою Ф.Мооса, відсутність спайності тощо). Тому рудні поклади продуктивної товщі за мінералогічними показниками можна віднести до високо стійких гірничих масивів.

3. За детальним вивченням геодинамічних властивостей порід вміщуючих товщ зрозуміло, що породи сланцевих горизонтів саксаганської світи, кварцити скелюватської, новокриворізької та гданцівської світ відносяться до порід середньо міцності; залізистих горизонтів та амфіболіти новокриворізької світи – з високою міцністю; сланці скелюватської, новокриворізької та гданцівської світ мають низьку міцність; тальк-вмісні сланці та відклади осадового чохла – дуже низьку міцність. Саме ці породи напряму впливають на загальну стійкість бортів обох кар'єрів.

4. Епігенетичні процеси натрієвого метасоматозу локально впливають на стійкість гірничих масивів. В ділянках їх активного прояву вони збільшують показники міцності порід за рахунок високої твердості породоутворюючих мінералів (рибекіт, магнетит, егірін, кварц).

5. Деформаційні (тектонічні) процеси не змінюють мінеральний склад первинних порід, але при цьому відбувається утворення інших текстурних особливостей руд, які зменшують показники міцності і, як наслідок, стійкість гірничих масивів.

6. Гіпергенні процеси, які активно проявлені у верхніх гіпсометричних горизонтах обох родовищ знижують показники стійкості гірничих масивів за рахунок прояву процесів окислення рудних мінералів та зниження їх загальної міцності.

7. Стратиграфічний фактор впливу на стійкість бортів напряду пов'язаний з будовою та мінеральним складом руд та гірських порід стратиграфічних горизонтів.

8. Гідрогеологічні умови родовищ (розташування водоносних горизонтів, атмосферні опади тощо). обумовлюють формування ділянок підвищеної зволоженості та обводнення, як результат утворення вторинних мінералів з рихлою будовою, текстур пористості, що зменшує стійкість бортів, складених цими породами.

9. Визначення геологічних, мінералогічних, хімічних, фізичних, технічних показників руд і гірських порід продуктивних і вмісних товщ Первомайського та Ганнівського родовищ дало змогу виділити такі категорії порід за стійкістю:

- стійкі (продуктивні товщі родовищ, перекриваючі та підстеляючі залізисті горизонти, перекриваючі сланцеві горизонти, нижня підсвіта новокриворізької світи, дніпропетровський комплекс гранітоїдів);

- помірно стійкі (верстви продуктів вивітрювання руд продуктивних і вмісних товщ, підстеляючі сланцеві горизонти, гданцівська світа, нижня підсвіта скелюватської світи, верхня підсвіта новокриворізької світи);

- нестійкі (верстви продуктів вивітрювання силікат-вмісних руд і порід саксаганської світи, середньої підсвіти скелюватської світи, верхньої підсвіти новокриворізької світи, середня підсвіта скелюватської світи, верстви мергелів кайнозойського осадового чохла);

- дуже нестійкі (верстви глин, суглинків, пісків кайнозойського осадового чохла, верстви інтенсивно вивітрених порід підстеляючих сланцевих горизонтів, сланців середньої підсвіти скелюватської світи, верхня підсвіта скелюватської світи).

10. Визначення фізичних і технічних властивостей руд та порід на основі їх мінералогічних, хімічних, текстурних та структурних особливостей показало, що всі

різновиди можна поділити на наступні групи: міцні (міцність 16-18,4 од.; пористість – 0,95-1,3 %; об'ємна маса – 3,4-3,8 г/см³; густина – 3,4-3,9 г/см³); середньо міцні (відповідно, 13-16 од, 1,3–1,7 %, 3,0-3,2 г/см³, 3,0-3,4 г/см³); не міцні (11-13 од., 1,7-2,5 %, 3,1-3,8 г/см³; 3,3-3,9 г/см³).

11. За отриманими результатами автором дисертаційної роботи побудовано моделі родовища з винесенням ділянок гірничих масивів з різною стійкістю, на утворення яких впливали різні геологічні процеси.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Aitkazinova Sh., O.Sdvyzhkova N. Imansakipova D.Babets D.Klymenko. (2022). Mathematical modeling the quarry wall stability under conditions of heavily jointed rocks. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. (6), P. 18-24. doi.org/10.33271/nvngu/2022-6/018
- Балута А.М., Борисенко В.Г. (1972). Прогнозная оценка физико-механических свойств горных пород Кривбасса. Киев: Наукова думка, 88 с. <http://lib.ktu.edu.ua>
- Бардаков К.С., Рип'як Б.С. (2022). Порівняння методів визначення коефіцієнтів запасу стійкості бортів кар'єру Полтавського ГЗК. Матеріали 77-ї студентської науково-технічної конференції «Тиждень студентської науки». Секція - гірничо-промисловість та геоінженерія. <https://ir.nmu.org.ua/bitstream/handle/123456789/160492/zvit-2022-630-632.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Белевцев Р.Я., Беляев О.Я., Ветренников В.В и др. (1989). Железисто-кремнистые формации докембрия европейской части СССР. *Метаморфизм*. Киев: Наукова думка, 148 с.
- Богданова И.П., Грицай Ю.Л., Костиков А.Г. (1992). Технологическая оценка и разработка геолого-технологической классификации железистых кварцитов Первомайского месторождения. Отчет о НИР. Кривой Рог: Фонды Научно-исследовательского и проектного института «Механобрчермет», 86 с.
- Booth, PW & Meyer, GE (2013). Quarry wall stability and design optimisation using photogrammetric mapping and analysis techniques', in PM Dight (ed.), *Slope Stability 2013: Proceedings of the 2013 International Symposium on Slope Stability in Open*

Pit Mining and Civil Engineering, Australian Centre for Geomechanics, Perth, pp. 935-948, https://doi.org/10.36487/ACG_rep/1308_65_Booth

Бубнова Е.А. (2017). Взаимосвязь параметров нарушения геологической среды с изменением уровня подземных вод в результате ведения горных работ. *Металлургическая и горнорудная промышленность*, №4, С. 58-63. [http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-](http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/MGRP_2017_4_15.pdf)

[bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/MGRP_2017_4_15.pdf](http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/MGRP_2017_4_15.pdf)

Бубнова Е.А. (2007). Сохранение водного баланса на нарушенных открытыми горными работами территориях. *Геотехническая механика*, Вып. 103, С. 45-54. [http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/54156/07-](http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/54156/07-Bubnova.PDF?sequence=1)

[Bubnova.PDF?sequence=1](http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/54156/07-Bubnova.PDF?sequence=1)

Viana C.D., Grohmann C.H., Garcia G.P.B., Albuquerque R.W., Monticelli J.P., Cacciari P.P., Futai M.M. (2019). Slope stability assessment based on a digital outcrop model: A case-study at Jardim Garcia quarry. Conference: 14th International Congress on Rock Mechanics and Rock Engineering (ISRM 2019). <https://www.researchgate.net/publication/342392094>

Геолого-економічна переоцінка Ганнівського родовища залізистих кварцитів (2016). Дніпропетровська та Кіровоградська області. ДНВП Геоінформ України. Каталог фонду, http://geoinf.kiev.ua/wp/geologichni-zviti.php?rep=fnd_shifr.rdf&schifr=64953

Губин Г.В., Пирогов Б.И., Евтехов В.Д. и др. (1993). Разработка новой энерго- и природосберегающей технологии, обеспечивающей комплексное использование минеральных ресурсов СевГОКа. Отчет о НИР. Кривой Рог: Фонды Криворожского национального университета, 125 с.

Євтехов В.Д. (1997). Етапи формування комплексної мінерально-сировинної бази залізорудних родовищ Криворізько-Кременчуцького лінеаменту. *Відомості Академії гірничих наук України*, №4, С. 111-114.

Євтехов В.Д., Демченко О.С., Філенко В.В., Євтехова А.В., Шепелюк М.О., Прилепа Д.М. (2020). Складання мінералого-технологічної класифікації руд Ганнівсь-

кого родовища з метою виробництва високоякісного залізорудного концентрату. Заключний звіт з НДР №548 . Кривий Ріг: Фонди Криворізького національного університету, 160 с.

Євтехов В.Д., Демченко О.С., Четверик М.С., Бабій К.В., Свистун В.К., Пігулевський П.Г., Тіхлівець С.В., Філенко В.В., Євтехова А.В., Шепелюк М.О., Прилепа Д.М., Тіхлівець С.В., Юрін А.О., Євтехов В.Є., Горбенко О.В. (2020). Дослідження геодинамічного стану породного масиву прибортових частин Первомайського та Ганнівського кар'єрів ПАО «ПівніГЗК» з метою визначення ділянок можливих аварійних техногенних ситуацій. Заключний звіт з НДР №551. Кривий Ріг: Фонди Криворізького національного університету, 126 с.

Evtekhov V.D., Demchenko O.S, Evtekhov E.V., Tikhlivets Sg.V. (2022). Geological factors of the stability of the open pit walls. Book of Abstracts of the 3rd International Conference on Sustainable Futures: Environmental, Technological, Social and Economic Matters, Ukraine, 24-27 May 2022. Ed. by Anna Iatsyshyn. Kyiv, P. 22-23. https://www.igns.gov.ua/wp-content/uploads/2022/05/book-of-abstracts_icsf-2022.pdf

Євтехов В.Д., Євтехов Е.В., Шепелюк М.А., Філенко В.В., Тихлівець С.В., Смирнов А.Я., Прилепа Д.Н., Демченко О.С., Стрельцов В.О. (2017). Актуалізована мінералого-генетическа класифікація бідних магнетитових руд Первомайського месторождения Кривбасса. Геолого-мінералогічний вісник Криворізького національного університету. Кривий Ріг. №1 (37). С. 42-72. https://drive.google.com/file/d/1D2O_-hIwHwoPR2xsONkAHNzIKss4NT6-/view

Євтехов В.Д., Ковальчук Л.Н., Євтехов Е.В., Філенко В.В. и др. (1998). Мінералогія и технологія обогачення гранат-содержащих сланцев Желтореченского месторождения. Отчет о НИР. Кривой Рог: Фонды Криворожского национального университета, 39 с.

Євтехов В.Д., Кондратьєва Д.Н., Малышкина А.В., Конєв В.Н. (1995). Альтернативные виды минерального сырья железорудных месторождений Криворожского бассейна. Отчет о НИР . Кривой Рог: Фонды Криворожского национального университета, 46 с.

- Евтехов В.Д., Пирогов Б.И. и др. (1976). Минералого-петрографическая характеристика типов руд СевГОКа и составление геолого-технологических карт Первомайского и Анновского месторождений (карьерных полей). Отчет о НИР. Кривой Рог: Фонды Криворожского национального университета, 1976, 148 с.
- Евтехов В.Д., Салтан А.Н., Малышкина А.В., Евтехов Е.В. (1993). Комплексное изучение альтернативных видов минерального сырья Криворожского бассейна. Отчет о НИР . Кривой Рог: Фонды Криворожского национального университета, 138 с.
- Евтехов В.Д., Тихливец С.В., Демченко О.С., Филенко В.В., Евтехова А.В., Шепелюк М.А., Прилепа Д.Н. (2018а). Определение физических и технических свойств руд и вмещающих горных пород Анновского месторождения и разработка минералого-технической классификации руд. Заключительный отчет о НИР № 616 . Кривой Рог: Фонды Криворожского национального университета, 167 с.
- Евтехов В.Д., Тихливец С.В., Демченко О.С., Филенко В.В., Евтехова А.В., Шепелюк М.А., Прилепа Д.Н. (2018б). Определение физических и технических свойств руд и вмещающих горных пород Первомайского месторождения и разработка минералого-технической классификации руд. Заключительный отчет о НИР № 619. Кривой Рог: Фонды Криворожского национального университета, 2018, 171 с.
- Євтехов В.Д., Тіхлівець С.В., Демченко О.С., Філенко В.В., Євтехова А.В., Тіхлівець С.В., Шепелюк М.О., Прилепа Д.М., Єрьоменко Г.І., Єрьоменко А.Г. (2019). Дослідження геомеханічних умов і сейсмічної активності гірничих масивів та розробка ТЗ на спеціалізовану ГІС для Первомайського та Ганнівського кар'єрів ПАТ «ПВНГЗК». Заключний звіт з НДР №726. Кривий Ріг: Фонди Криворізького національного університету, 87 с.
- Євтехов В.Д., Тіхлівець С.В., Євтехов Є.В. (17-20 листопада 2020 р.). Геологічні фактори утворення руд і гірських порід північного залізрудного району. Метаморфізм. Розвиток промисловості та суспільства. Міжнародна науково-

технічна конференція. Матеріали конференції. Кривий Ріг. Видав.центр КНУ. С. 59-61. http://www.geol.univ.kiev.ua/docs/conf/Mingeo2020_materials.pdf

Євтехов В.Д., Тіхлівець Сг.В., Демченко О.С., Євтехов Є.В. (2020). Вплив природних факторів на стійкість розкритих гірничих масивів Кривбасу. Мінералогічний фактор. Геолого-мінералогічний вісник КНУ, №1-2 (43-44). , С. 43-63. doi 10.31721/2306-5443-2020-43-44-1-2-43-63

Євтехов В.Д., Тіхлівець Сг., В., Євтехов Є.В. (17-12 листопада 2020 р.). Геологічні фактори утворення руд і гірських порід Північного залізородного району. Седиментація та діагенез. Розвиток промисловості та суспільства. Міжнародна науково-практична конференція. Матеріали конференції. Кривий Ріг. Видав.центр КНУ, С. 59-61. <http://surl.li/umkqf>.

Євтехов В.Д., Тіхлівець Сг.,В., Тіхлівець С.В. (28-30 вересня 2022 р.). Вплив хімічного складу магнетитових кварцитів на стійкість гірських масивів залізородних родовищ Криворізького басейну. Від мінералогії і геогнозії до геохімії, петрології, геології та геофізики: фундаментальні та прикладні тренди XXI століття (MinGeoIntegration XXI). Матеріали конференції, КНУ, Київ, с. 126-128. http://www.geol.univ.kiev.ua/docs/conf/Mingeo2022_materials.pdf.

Євтехов В.Д., Тіхлівець Сг.В., Тіхлівець С.В. (12-13 жовтня 2022). Склад магнетиту як показник варіативності стійкості гірських масивів залізородних родовищ Кривбасу. Геологічна будова та корисні копалини України: Збірник тез всеукраїнської наукової конференції (Київ, 12-13 жовтня 2022 р.). НАН України, Ін-т геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка. Київ, С.164-167. https://igmr.org.ua/pdf/Abstracts_2022_conf_compressed.pdf

Evtekhov V., Tikhlivets Sg., Tikhlivets S., Urin A. (2022). Influence of tectonic processes on the stability of ore massifs of the Northern Iron Ore Region. Journ. Geol. Geograph. Geoecology, 41 (4). , p. 795-801. doi [10.15421/112274](https://doi.org/10.15421/112274)

Євтехова Г.В. (2007). Геологія альпійських утворень залізо-кременистої формації Криворізького басейну. Автореферат дис. канд. геол. наук. Дніпропетровськ: Національний гірничий інститут, 20 с. http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv

Жданова В.В. (2015). Разработка рекомендаций по защите Анновского и Первомай-

ского карьеров от подземных вод и по устойчивым углам откосов бортов карьеров и отдельных уступов на период их эксплуатации с 2004 по 2015 год. Отчет НТФ . Харьков: НОВОТЭК-2, 71 с.

Изучение изменений гидрогеологических условий в районе СевГОКа. (2008). Отчет Криворожской геолого-гидрогеологической партии (КГПП). Кривой Рог.

Krastanov, M., Berov, B. (2021). Assessment of the factors affecting slope stability in the southern part of the Sofia Kettle. *Geologica Balcanica* 50 (3), 55–63. https://www.geologica-balcanica.eu/sites/default/files/articles/Krastanov_Geol_Balc_50-3_2021.pdf

Карпенко С.В. (2011). Топомінералогія залізисто-кременистої формації Ганнівського родовища Криворізького басейну. Автореф. дис. ... канд. геол. наук : 04.00.20. НАН України, Ін-т геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка. К., 20 с.

Kovanič L., M.Sc., Blišťan P. (2014). Quarry wall stability assessment using TLS method. *Advanced Materials Research, Slovakia, Vols. 1044-1045*, p. 603-606. https://www.researchgate.net/publication/271518206_Quarry_Wall_Stability_Assessment_Using_TLS_Method.

Методичні вказівки з визначення оптимальних кутів нахилу бортів укосів уступів і відвалів залізородних та флюсових кар'єрів (2009). Дніпропетровськ: ІППЕ НАН України, 201 с.

Мечніков Ю.П., Філенко В.В. (2024). Будова західного борту Кривбасу за результатами буріння криворізької надглибокої свердловини та комплексу геофізичних досліджень. Збірник матеріалів Всеукраїнського науково-практичної конференції «Свтеховські читання», Кривий Ріг, КНУ, С. 81-84.

Мещерякова Л.Р. (1990). Обобщение данных разведки и эксплуатации железистых кварцитов месторождений СевГОКа. Отчет тематической группы. Кривой Рог: Фонды Северного ГОКа, Т. 1.

Методичні вказівки з визначення оптимальних кутів нахилу бортів укосів уступів і відвалів залізородних та флюсових кар'єрів (2009). Дніпропетровськ: ІППЕ НАН України, 201 с.

More O'FERRALL G.C., Plessis M du. (October 2017). The Influence of Geological Structures - An Often-Overlooked but Important Aspect Affecting the Stability of Operating Mines. The ISRM AfriRock - Rock Mechanics for Africa, Cape Town, South Africa. Number: ISRM-AFRIROCK-2017-072. <https://onepetro.org/ISRMAFRIROCK/proceedings-abstract/AFRIROCK17/All-AFRIROCK17/ISRM-AFRIROCK-2017-072/42395>

Николашин Ю.М. (1975). Изучение закономерностей деформирования откосов бортов карьеров, разработка и осуществление мероприятий по предотвращению нарушения устойчивости бортов карьеров горно-обогатительных предприятий Кривбасса: СевГОКа, ИнГОКа. Отчет о НИР. Кривой Рог: ВИОГЕМ, 73 с.

Николашин Ю.М. (1982). Исследование условий устойчивости бортов железорудных карьеров МЧМ УССР, сложенных песчано-глинистыми и трещиноватыми породами с разработкой противооползневых мероприятий. Отчет о НИР. Кривой Рог-Белгород: ВИОГЕМ, 101 с.

Николашин Ю.М. (1988). Исследование устойчивости и уточнение контуров постоянных бортов карьеров Минчермета Украины. Раздел: Определение предельных углов погашения бортов и уступов на постоянных и временно нерабочих контурах на карьерах СевГОКа. Отчет о НИР. Кривой Рог-Белгород: ВИОГЕМ, 97 с.

Николашин Ю.М. (2016а). Создание модели геомеханического состояния горного массива в проектных контурах отработки ЧАО «СевГОК» и оценка устойчивости состояния уступов и бортов Анновского карьера. Отчет о НИР . Кривой Рог: КАИ, 217 с.

Николашин Ю.М. (2016б). Создание модели геомеханического состояния горного массива в проектных контурах отработки ЧАО «СевГОК» и оценка устойчивости состояния уступов и бортов Первомайского карьера. Отчет о НИР . Кривой Рог: КАИ, 211 с.

Норми технологiчного проектування гiрничодобувних пiдприємств iз вiдкритим засобом розробки родовищ корисних копалин (2007). Частина 1. Гiрничi роботи.

Ліквідація гірничодобувних підприємств. СОУ-Н МПП 73.020-078-1:2007 .
Київ: МПП, 100 с.

Ozhygin Dima, Václav šafář, Dorokhov Dmitrij, Ozhygina Svetlana, Ozhygin Sergey, Staňková Hana (6th-10th September 2021). Terrestrial photogrammetry at the quarry and validating the accuracy of slope models for monitoring their stability. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 906, 7th World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium (WMESS 2021), Prague, Czech Republic. 906 012062. doi 10.1088/1755-1315/906/1/012062

Осипенко Ю.С. (2011). Разработка рекомендаций и мероприятий по защите Анновского карьера в границах разведочных профилей 40-45 от подземных вод и по устойчивым углам откосов бортов карьера и ярусов отвала. Отчет о НИР . Харьков: НОВАТЭК-2.

Отчет о результатах выполненных работ по бурению инженерных геологических и гидрогеологических наблюдательных скважин для Анновского и Первомайского карьеров ОАО «СевГОК» г. Кривого Рога. (2004). Днепропетровск: ДніпроГІІНТИЗ.

Паранько И.С. (1993). Некоторые особенности развития Криворожской структуры . Геологический журнал, № 4, С. 112-133.

Паранько И.С., Евтехов В.Д., Евтехов Е.В., Федорова И.А. (2002). Декоративный камень Криворожского бассейна. Отчет о НИР. Кривой Рог: Фонды Криворожского национального университета, 82 с.

Перегудов В.В., Евтехов В.Д., Паранько И.С. и др. (2006). Формирование баз данных для компьютерного моделирования открытой разработки Анновского и Первомайского месторождений СевГОКа. Фонды Криворожского национального университета, 75 с.

Пирогов Б.И., Евтехов В.Д., Кондратьева Д.Н. и др. (1980). Минералогическое картирование железорудных месторождений Северного Криворожья . Горный журнал, №10, С. 12-15.

Плотников А.В. (1994). О генезисе Терновской структуры в Криворожском бассейне. Геотектоника, №3, С. 36-43.

- Плотников А.В. (1993). Системы разрывных нарушений в Криворожском рудном районе. Известия высших учебных заведений. Геология и разведка, №2, С. 35-42.
- Плотніков О.В., Грицай Ю.Л., Постоліук Р.І. та ін. (2009). Геолого-економічна переоцінка Первомайського родовища залізистих кварцитів. Кривий Ріг, Фонди Академії гірничих наук України, Т. 1, 267 с.
- Полищук С.З. (2004). Разработка рекомендаций по защите Анновского и Первомайского карьеров от подземных вод и по устойчивым углам откосов бортов карьеров и отдельных уступов на период их эксплуатации с 2004 по 2015 год. Отчет о НИР. Харьков: НОВОТЭК-2.
- Почтаренкин В.И., Шрамко П.П. (1989). Изучение закономерностей распределения и перспектив возможного использования элементов-примесей в железистых кварцитах месторождений Криворожско-Кременчугской структурно-фациальной зоны. Отчет о НИР. Киев: Фонды Центральной тематической экспедиции Управления «Укргеология».
- Развитие сырьевой базы Северного горно-обогатительного комбината на период до 2015 года (2008). Проект. Харьков: Фонды Украинского института по проектированию предприятий рудного, флюсового, огнеупорного сырья и строительных материалов Укргипроруда, 215 с.
- Разработка мероприятий по обеспечению устойчивости откосов отвала и технологии складирования вскрышных пород на первом ярусе северо-западного отвала Анновского карьера (2008). Днепропетровск: Институт геотехнической механики НАН Украины, 50 с.
- Rykhiteeva N.F., Andreeva O.N., Koltsov P.V. (2023). Stability analysis of pit slopes in ZapadnoOzerny quarry to ensure mine safety. E3S Web of Conferences (ICITE 2023), 474, 01072 (2024). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202447401072>.
- Saadoun A., Hafsaoui A., Khadri Y., Fredj M., Boukarm R., Nakache R. (2019). Study Effect of Geological Parameters of the Slope Stability by Numerical Modelling, Case Limestone Career of Lafargem'sila, Algeria. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 221, 012021. doi:10.1088/1755-1315/221/1/012021.

- Сукач В.В., Курило С.І., Шурко М.М. (2014). Геолого-структурна позиція, формаційна належність та генетичні особливості гранітоїдів Демуриносського комплексу (Середньопридніпровський мегаблок Українського щита). Геологічний журнал, №2 (347), С. 17-28.
- Tikhliivets S.V. (2021). Variability of physical and chemical properties of magnetite and quartz of the Northern region in Kryvyi Rih basin. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv: Geology*, 1(92), 17-23. DOI: 10.17721/1728-2713.92.03
- Тихливець С.В., Евтехов В.Д., Демченко О.С., Филенко В.В., Шепелюк М.А., Прилепа Д.М. (2018). Определение физических и технических свойств руд и вмещающих горных пород Первомайского месторождения, и разработка минералого-технической классификации руд. Заключительный отчет о НИР . Кривой Рог: Фонды Криворожского национального университета, 170 с.
- Тіхлівець С.В., Філенко В.В., Трунін О.М., Тіхлівець С.В., Юрін А.О. (23-25 вересня 2020 р.). Вплив гіпергенних процесів на залізо-кремністу формацію Північного району Кривбасу. Збірник праць всеукраїнської конференції «Від мінералогії і геогнозії до геохімії, петрології, геології та геофізики: фундаментальні і прикладні тренди ХХІ століття» (MinGeoIntegration XXI). , Київ, С. 209-214. http://www.geol.univ.kiev.ua/docs/conf/Mingeo2020_materials.pdf.
- Тіхлівець С.В. (7 квітня 2023). Передумови складання спеціалізованої ГІС сейсмічної стійкості гірничих масивів Північного залізрудного району Криворізького басейну. Збірник матеріалів Всеукраїнської науково-практичної конференції «Євтеховські читання», Кривий Ріг, 2023, С. 92-95. <https://gtpm.knu.edu.ua/>
- Тіхлівець С.В., Євтехов В.Д., Тіхлівець С.В. (2022). Епігенетичні процеси як чинник впливу на стійкість гірничих масивів Північного залізрудного району. *Мінералогія України: сучасний стан і перспективи: Дванадцяті наукові читання імені академіка Євгена Лазаренка* : матеріали. Відп. ред. О. Матковський. Львів: Видав. центр ЛНУ імені Івана Франка, С. 21-25.
- Тіхлівець С.В., Євтехов В.Д., Тіхлівець С.В. (28-30 вересня 2022 р.). Вплив хімічного складу магнетитових кварцитів на стійкість гірських масивів залізрудних родовищ Криворізького басейну Збірник праць Всеукраїнської конференції

«Від мінералогії і геогнозії до геохімії, петрології, геології та геофізики: фундаментальні і прикладні тренди XXI століття» (MinGeoIntegration XXI). С. 126-129. http://www.geol.univ.kiev.ua/docs/conf/Mingeo2022_materials.pdf.

Tikhlivets Sg., Evtekhov V., Tikhlivets S., Holiver N. (April 21-22, 2021). Metamorphism as the main geological process of genesis of ore and rocks: case of the Northern iron-ore district of Kryvyi Rih basin. Widening our horizons. The 16th International Forum for Students and Young Researchers., Dnipro University of Technology, 2021, p. 460-461.

Tikhlivets. S., Tikhlivets Sg. (2022). Liquid metal mineralization of mesomat zone in ores of gneiss-schist complex of Kryvyi Rih direct. 5th International Scientific and Technical Internet Conference «Innovative development of resource-saving technologies and sustainable use of natural resources». Book of Abstracts. Petroșani, Romania: UNIVERSITAS Publishing, P. 72-73.

Тіхлівець Сг., В., Тіхлівець С.В. (2023). Геологічні засади розробки 3D моделі стійкості бортів Ганнівського кар'єру Північного ГЗКу. Геолого-мінералогічний вісник Криворізького національного університету, №1 (49), С. 26-32. Doi:10.31721/2306-5443-2023-49-1-26-32.

Тіхлівець Сг., В., Тіхлівець С.В. (2023). ГІС для моніторингу стійкості гірничих масивів Північного залізрудного району Криворізького басейну. Геолого-мінералогічний вісник Криворізького національного університету, №2 (50), С.49-57. DOI: 10.31721/2306-5443-2023-50-2-49-57

Тіхлівець Сг., В., Тіхлівець С.В. (2021). Фізичні властивості залізистих кварцитів як показник впливу на стійкість розкритих гірських масивів Ганнівського родовища. Геолого-мінералогічний вісник Криворізького національного університету, №1-2 (45-46), С. 83-90. DOI 10.31721/2306-5443-2021-45-46-1-2-83-89.

Тіхлівець Сг.В., Харитонов В.М., Тіхлівець С.В. (2024). Геологічні фактори впливу на стійкість гірничих масивів Північного залізрудного району Криворізького басейну. Стратиграфічний фактор. Збірник матеріалів Всеукраїнської науково-

практичної конференції «Євтеховські читання», 5 квітня 2024, Кривий Ріг, С. 87-89. <https://gtpm.knu.edu.ua/>

Трунін О.М., Кульков О.М., Тіхлівець С.В., Філенко В.В., Тіхлівець С.Г., Юрін А.О., Смірнова Г.Я. (17-12 листопада 2020 р.). Гетит глибинної кори вивітрювання залізних руд родовища шахти «Ювілейна» (Криворізький басейн). Розвиток промисловості та суспільства. Міжнародна науково-практична конференція. Матеріали конференції, Кривий Ріг. Видав.центр КНУ, С. 47-51. <http://surl.li/umkqf>

Шевчук В.В., Лавренюк М.В., Кравченко Д.В. (2013). Основи структурного аналізу. К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 287 с.

Шепелева В.В. (1995). Разработка технологических схем постановки бортов карьера в конечное положение с уточнением углов откосов уступов на предельном контуре. Отчет о НИР . Кривой Рог: НПП МЭГГИ, 1995, 124 с.

Удовенко М.Д., Смиянова И.А., Хартанович П.Н. (1993). Доразведка железистых кварцитов шестого железистого горизонта в пределах отработки их в период 2000-2005 гг. Первомайским карьером СевГОКа с целью улучшения структуры балансовых запасов. Отчет о геологическом изучении недр . Кривой Рог: Фонды предприятия Укррудпром, 320 с.

Формирование временного внутреннего отвала на юго-западном борту Первомайского карьера (2016). ТЭО рабочего проекта. Общая пояснительная записка. Харьков: ООО Южгипроруда.

Хартанович П.Н. (1983). Особенности геологического строения Первомайского и Анновского месторождений железистых кварцитов. Горный журнал, №11, С. 9-12.

Хоменко С.А., Барановский С.С. (2008). Программный продукт «Геоинформационная система K-MINE»: Пособие пользователя. Кривой Рог, НПП «КРИВБАС-САКАДЕМИНВЕСТ», 256 с.

Циклично-поточная технология скальных пород вскрыши в Первомайском карьере (2008). Отчет об инженерно-геологических изысканиях. Пояснительная записка. Харьков: ООО Южгипроруда, 71 с.

Черновский М.И., Плотников А.В. (1994). Закономерности пространственного размещения и внутреннего строения рудных полей железистых кварцитов в Криворожском рудном районе. Проблемы горно-добывающей промышленности металлургического комплекса Украины. Сборник научных трудов. Кривой Рог: Научно-исследовательский горнорудный институт, С. 188-193.

ДОДАТКИ

Додаток А

Таблиця 1..

Мінералого-технічна класифікація руд і порід Первомайського та Ганнівського родовищ за міцністю їх мінеральних агрегатів

Різновиди за міцністю мінеральних агрегатів	Руди та гірські породи
міцні	<p><u>продуктивні товщі родовищ</u>: кварцити залізнослюдко-магнетитові, магнетитові, кумінгтоніт-магнетитові, магнетит-кумінгтонітові, метасоматити егіринові та рибекітові;</p> <p><u>вмісні верстви</u>: кварцити біотит-магнетит-кумінгтонітові, біотит-кумінгтоніт-магнетитові, магнетит-біотит-магнезіорибекіт-кумінгтонітові, біотит-магнезіорибекіт-кумінгтоніт-магнетитові та сланці біотит-магнезіорибекіт-кварц-кумінгтонітові (стратиграфічні горизонти саксаганської світи, підстеляючі та перекриваючі продуктивні товщі). ; граніти мікроклін-кварц-плагіоклазові дніпропетровського комплексу; амфіболіти новокриворізької світи;</p>
помірно міцні	<p><u>продуктивні товщі родовищ</u>: кварцити мартитові, залізнослюдко-мартитові, дисперсногематит-мартитові, їх аналоги з новоутвореними гідроксидами заліза та з реліктовими магнетитом і силікатами;</p> <p><u>вмісні верстви</u>: кварцити мусковітові скелюватської світи; слабо вивітрені амфіболіти та кварцити мусковіт-роговообманкобіотитові новокриворізької світи; мармури доломітові та кварцити мусковіт-біотитові гданцівської світи; брекчії, катаклазити</p>
	<p><u>продуктивні товщі родовищ</u>: кварцити мартит-</p>

<p>низької міцності</p>	<p>дисперсногематитові, мартит-дисперсногетитові; <u>вмісні верстви</u>: сланці каолініт-кварц-дисперсногематитові, каолініт-кварц-дисперсногетитові саксаганської світи, сланці кварц-мусковітові та каолінізовані кварц-мусковітові кварцити скелюватської світи; сланці мусковіт-роговообманко-кварц-біотитові та інтенсивно вивітрені амфіболіти новокриворізької світи; сланці мусковіт-кварц-біотитові гданцівської світи; мергелі осадового чохла; мілоніти</p>
<p>дуже низької міцності</p>	<p><u>вмісні верстви</u>: невивітрені та вивітрені тальк-вмісні сланці та інтенсивно вивітрені кварц-мусковітові сланці скелюватської світи; глини, суглинки, піски та ґрунти осадового чохла.</p>

Додаток Б

Таблиця 1.

Вміст $Fe_{заг.}$ та $Fe_{магн.}$ у складі руд і гірських порід Первомайського родовища

Індекси проб	Вміст, мас.%	
	$Fe_{заг.}$	$Fe_{магн.}$
СИНГЕНЕТИЧНІ РУДИ ТА ГІРСЬКІ ПОРОДИ		
1. Кварцити магнетит-залізнослюдкові, залізнослюдко-магнетитові		
Прв-2220	40,84	25,02
Прв-2114	39,22	30,04
Прв-2143	40,13	29,78
Прв-2178	39,21	30,55
Прв-2113	39,63	31,16
Прв-2222	40,82	30,57
Прв-2152	41,02	31,24
Прв-2128	39,15	28,97
Прв-2186	38,54	30,03
Середнє	39,84	29,71
2. Кварцити магнетитові червоношаруваті		
Прв-2230	39,41	35,43
Прв-2227	39,86	34,37
Прв-2219	38,55	35,72
Прв-2217	38,94	35,49
Прв-2159	37,98	37,83
Прв-2112	38,65	36,02
Прв-2118	37,88	34,28
Прв-2131	39,02	35,17
Середнє	38,79	35,54
3. Кварцити магнетитові сірошаруваті		
Прв-2171	37,59	34,22

Прв-2193	38,15	35,03
Прв-2102	38,03	33,95
Прв-2160	37,91	33,87
Прв-2162	37,62	31,84
Прв-2215	37,41	33,22
Прв-2116	37,06	35,13
Середнє	37,68	33,89
4. Кварцити кумінгтоніт-магнетитові		
Прв-2213	33,17	27,04
Прв-2106	35,29	29,83
Прв-2109	34,32	26,53
Прв-2101	33,59	28,02
Прв-2110	34,68	28,67
Прв-2108	33,81	27,54
Прв-2175	34,20	28,47
Прв-2138	35,97	27,62
Прв-2202	37,14	27,58
Прв-2221	35,64	27,01
Середнє	34,78	27,83
5. Кварцити магнетит-кумінгтонітові		
Прв-2115	30,54	19,53
Прв-2199	28,06	18,50
Прв-2124	31,57	19,06
Прв-2223	31,25	22,31
Прв-2119	30,57	23,08
Прв-2134	31,88	20,59
Прв-2192	32,06	22,07
Середнє	30,85	20,73
6. Сланці та силікатні кварцити третього-п'ятого сланцевого горизонту		

Прв-2117	17,12	3,75
Прв-2218	19,03	2,31
Прв-2179	18,69	0,96
Прв-2190	19,22	1,32
Прв-2180	20,13	1,29
Прв-2172	18,59	2,15
Прв-2173	20,76	1,98
Прв-2183	21,63	1,56
Прв-2224	19,02	2,45
Середнє	19,35	1,97
7. Кварцити магнетит-силікатні сьомого сланцевого горизонту		
Прв-2130	27,53	15,51
Прв-2191	22,61	11,08
Прв-2161	24,93	12,47
Прв-2121	25,41	13,27
Прв-2167	23,72	11,67
Прв-2164	22,46	13,57
Прв-2140	23,07	12,79
Прв-2229	23,84	10,74
Прв-2137	24,91	11,29
Прв-2125	25,8	14,53
Середнє	24,43	12,69
8. Кварцити магнетит-силікатні сьомого залізного горизонту		
Прв-2142	28,45	12,47
Прв-2148	25,87	15,33
Прв-2225	27,46	18,24
Прв-2185	28,68	19,45
Прв-2157	31,66	11,47
Прв-2198	30,41	12,61

Прв-2214	27,89	15,22
Прв-2182	25,11	14,17
Прв-2139	26,32	12,05
Прв-2189	27,15	11,17
Середнє	27,90	14,22
9. Мармури доломітові гданцівської світи		
Прв-2210	1,47	0,37
Прв-2111	1,52	0,15
Прв-2165	1,87	0,37
Прв-2163	1,42	0,24
Прв-2208	1,92	0,28
Прв-2206	1,57	0,24
Середнє	1,63	0,28
ЕПІГЕНЕТИЧНІ РУДИ ТА ГІРСЬКІ ПОРОДИ		
10. Брекчії, катаклазити, мілоніти		
Прв-2197	35,12	19,74
Прв-2154	33,47	27,46
Прв-2203	37,04	26,51
Прв-2150	34,12	28,11
Прв-2127	40,28	26,74
Прв-2169	38,63	29,13
Прв-2158	37,31	22,70
Прв-2166	30,17	23,15
Прв-2126	34,85	34,79
Прв-2135	41,22	34,67
Прв-2194	32,46	28,62
Прв-2136	35,81	29,74
Середнє	35,87	27,61
11. Метасоматити егіринові		

Прв-2181	40,15	29,74
Прв-2177	39,45	33,24
Прв-2132	41,27	31,45
Прв-2216	42,16	29,34
Прв-2176	42,08	33,45
Прв-2123	40,34	28,96
Прв-2168	40,87	33,57
Прв-2209	41,67	29,64
Прв-2156	40,37	31,47
Середнє	40,93	31,21
12. Метасоматити рибекітові		
Прв-2146	39,51	31,24
Прв-2120	38,46	29,84
Прв-2170	41,05	30,47
Прв-2145	42,38	28,66
Прв-2141	40,24	29,45
Прв-2133	37,68	30,17
Прв-2196	39,41	31,08
Прв-2144	40,10	28,44
Прв-2207	42,64	29,34
Прв-2147	40,16	31,54
Прв-2129	40,33	31,87
Прв-2187	41,87	32,09
Середнє	40,32	30,35
13. Кварцити магнетитові окварцовані		
Прв-2184	35,47	32,14
Прв-2195	36,01	30,42
Прв-2212	33,57	30,45
Прв-2151	35,49	32,51

Прв-2211	34,38	31,17
Прв-2204	34,57	32,31
Прв-2201	35,14	30,77
Прв-2228	35,67	29,18
Прв-2104	34,98	30,75
Прв-2200	38,34	28,34
Середнє	35,36	30,80
14. Кварцити магнетитові гіпергенно змінені		
Прв-2226	38,45	18,54
Прв-2153	39,15	19,54
Прв-2107	38,97	18,37
Прв-2188	39,30	20,12
Прв-2149	38,65	24,37
Прв-2174	40,55	21,95
Прв-2103	38,20	23,74
Прв-2155	41,23	25,60
Прв-2105	39,82	26,77
Прв-2122	38,45	26,11
Прв-2205	40,11	25,78
Середнє	39,35	22,81

Таблиця 2

Вміст $Fe_{\text{заг.}}$ та $Fe_{\text{магн.}}$ у складі руд і гірських порід Ганнівського родовища

Індекси проб	Вміст, мас.%	
	$Fe_{\text{заг.}}$	$Fe_{\text{магн.}}$
СИНГЕНЕТИЧНІ РУДИ ТА ГІРСЬКІ ПОРОДИ		
1. Кварцити магнетит-залізнослюдкові, залізнослюдко-магнетитові		
Анн-2140	39,14	28,14
Анн-2184	40,23	27,45
Анн-2129	39,22	28,59
Анн-2122	40,12	30,13
Анн-2191	39,58	29,77
Анн-2167	41,31	31,02
Анн-2187	39,56	30,11
Середнє	39,88	29,32
2. Кварцити магнетитові червоношаруваті		
Анн-2225	39,51	34,45
Анн-2120	38,21	35,44
Анн-2171	38,39	33,67
Анн-2106	40,67	34,24
Анн-2103	38,45	33,54
Анн-2159	38,61	34,54
Середнє	38,97	34,31
3. Кварцити магнетитові сірошаруваті		
Анн-2216	38,78	33,29
Анн-2201	37,94	32,07
Анн-2145	38,76	31,84
Анн-2151	37,07	33,67
Анн-2163	37,49	32,45
Середнє	38,01	32,66

4. Кварцити кумінгтоніт-магнетитові		
Анн-2169	31,47	22,71
Анн-2113	32,42	26,53
Анн-2215	33,59	25,98
Анн-2207	34,27	24,32
Анн-2157	33,91	26,74
Анн-2154	33,78	28,15
Анн-2210	34,61	26,70
Середнє	33,44	25,88
5. Кварцити магнетит-кумінгтонітові		
Анн-2224	30,53	18,34
Анн-2222	29,84	19,57
Анн-2175	28,75	19,32
Анн-2124	27,58	18,58
Анн-2125	32,47	19,66
Анн-2109	31,24	20,75
Середнє	30,07	19,37
6. Сланці та силікатні кварцити першого сланцевого горизонту		
Анн-2177	16,58	0,57
Анн-2172	17,96	1,26
Анн-2217	19,22	2,45
Анн-2135	20,19	1,05
Анн-2202	18,43	0,67
Анн-2130	18,59	0,95
Анн-2134	19,67	2,12
Анн-2111	18,52	1,97
Анн-2186	18,34	2,31
Анн-2195	20,82	2,54
Середнє	18,83	1,59

7. Кварцити магнетит-силікатні нульового залізного горизонту		
Анн-2117	28,61	15,61
Анн-2170	26,54	14,43
Анн-2190	25,67	15,42
Анн-2131	29,68	15,68
Анн-2166	30,11	16,04
Анн-2126	29,37	15,98
Анн-2137	27,18	14,23
Анн-2147	25,37	14,37
Анн-2168	29,64	16,84
Середнє	28,02	15,40
8. Сланці та силікатні кварцити нульового сланцевого горизонту		
Анн-2220	21,14	1,45
Анн-2192	18,37	1,35
Анн-2116	18,65	2,67
Анн-2194	19,55	0,38
Анн-2143	17,32	2,68
Анн-2204	18,15	2,87
Середнє	18,86	1,90
9. Кварцити магнетит-силікатні першої підпачки висячої пачки		
Анн-2180	26,57	13,47
Анн-2162	28,45	12,56
Анн-2110	24,35	11,19
Анн-2155	26,34	13,58
Анн-2199	25,40	15,74
Анн-2198	26,98	14,37
Анн-2115	25,47	12,62
Анн-2152	26,42	14,32
Анн-2158	25,01	15,24

Середнє	26,11	13,68
10. Кварцити магнетит-силікатні другої підпачки всячої пачки		
Анн-2150	28,64	19,45
Анн-2197	31,45	18,26
Анн-2144	29,64	19,75
Анн-2212	24,24	17,14
Анн-2114	30,72	17,26
Анн-2189	32,41	19,45
Анн-2211	29,75	18,34
Анн-2136	26,54	18,27
Анн-2219	28,36	18,44
Анн-2105	29,78	19,34
Середнє	29,15	18,57
ЕПІГЕНЕТИЧНІ РУДИ ТА ГІРСЬКІ ПОРОДИ		
11. Брекчії, катаклазити, мілоніти		
Анн-2108	37,15	29,41
Анн-2119	38,64	33,92
Анн-2142	39,37	31,89
Анн-2200	38,29	28,25
Анн-2205	38,67	29,71
Анн-2206	35,15	34,53
Анн-2223	34,19	29,45
Анн-2173	35,08	31,08
Анн-2209	35,37	36,30
Анн-2182	40,78	31,16
Анн-2160	39,48	29,07
Анн-2139	40,98	27,19
Середнє	37,76	31,00
12. Метасоматити егіринові		

Анн-2102	41,56	26,47
Анн-2179	42,51	27,39
Анн-2107	41,15	28,87
Анн-2188	40,08	28,53
Анн-2185	42,34	26,91
Анн-2121	41,59	27,13
Анн-2104	40,96	29,58
Анн-2208	41,03	28,93
Анн-2221	42,24	30,04
Анн-2218	40,67	29,11
Середнє	41,08	28,54
13. Метасоматити рибекітові		
Анн-2176	42,15	31,84
Анн-2183	39,74	32,09
Анн-2214	37,58	27,92
Анн-2132	36,96	29,65
Анн-2153	39,51	30,44
Анн-2112	40,11	29,23
Анн-2148	41,61	28,59
Анн-2181	41,33	27,83
Анн-2141	39,74	30,17
Анн-2193	39,47	31,54
Анн-2165	38,93	32,69
Середнє	39,74	30,18
14. Кварцити магнетитові окварцовані		
Анн-2164	35,63	25,88
Анн-2156	38,4	25,34
Анн-2123	36,54	28,44
Анн-2118	34,59	26,89

Анн-2128	33,51	27,11
Анн-2178	34,02	28,33
Анн-2196	33,64	29,45
Анн-2146	34,57	29,74
Середнє	35,11	27,65
15. Кварцити магнетитові гіпергенно змінені		
Анн-2203	38,87	16,38
Анн-2174	41,31	17,63
Анн-2127	38,74	19,28
Анн-2213	40,53	18,25
Анн-2138	38,77	22,09
Анн-2101	39,24	24,13
Анн-2149	38,91	19,73
Анн-2161	39,66	17,49
Анн-2133	40,09	20,58
Середнє	39,57	19,51

Додаток В

Таблиця 1.

Фізичні та технічні показники руд і гірських порід Первомайського родовища

Індекси проб	Фізичні та технічні показники			
	Густина, г/см ³	Об'ємна маса, г/см ³	Пористість, %	Міцність, од.
СИНГЕНЕТИЧНІ РУДИ ТА ГІРСЬКІ ПОРОДИ				
1. Кварцити магнетит-залізнослюдкові, залізнослюдко-магнетитові				
Прв-2231	3,81	3,77	1,05	17,5
Прв-2232	3,92	3,86	1,53	17,3
Прв-2233	3,87	3,83	1,03	17,5
Середнє	3,87	3,82	1,20	17,4
2. Кварцити магнетитові червоношаруваті				
Прв-2234	3,83	3,76	1,83	18,3
Прв-2235	3,75	3,69	1,60	18,5
Прв-2236	3,79	3,74	1,32	18,7
Середнє	3,79	3,73	1,58	18,5
3. Кварцити магнетитові сірошаруваті				
Прв-2237	3,75	3,69	1,60	18,5
Прв-2238	3,71	3,64	1,89	18,5
Прв-2239	3,74	3,68	1,60	18,8
Середнє	3,73	3,67	1,70	18,6
4. Кварцити кумінгтоніт-магнетитові				
Прв-2240	3,61	3,55	1,66	18,0
Прв-2241	3,42	3,36	1,75	18,2
Прв-2242	3,54	3,47	1,98	17,9
Середнє	3,52	3,46	1,80	18,0
5. Кварцити магнетит-кумінгтонітові				

Прв-2243	3,37	3,31	1,78	17,7
Прв-2244	3,45	3,4	1,45	17,2
Прв-2245	3,42	3,37	1,46	17,2
Середнє	3,41	3,36	1,56	17,4
6. Сланці та безрудні кварцити третього-п'ятого сланцевого горизонту				
Прв-2246	2,87	2,83	1,39	15,8
Прв-2247	2,91	2,88	1,03	13,4
Прв-2248	2,93	2,89	1,37	14,3
Середнє	2,90	2,87	1,26	14,5
7. Кварцити магнетит-силікатні сьомого сланцевого горизонту				
Прв-2249	3,27	3,22	1,53	17,5
Прв-2250	3,28	3,24	1,22	16,2
Прв-2251	3,24	3,18	1,85	16,5
Середнє	3,26	3,21	1,53	16,7
8. Кварцити магнетит-силікатні сьомого залізного горизонту				
Прв-2252	3,28	3,22	1,83	17,9
Прв-2253	3,27	3,22	1,53	17,2
Прв-2254	3,25	3,21	1,23	17,3
Середнє	3,27	3,22	1,53	17,5
9. Мармури доломітові гданцівської світи				
Прв-2255	2,76	2,72	1,45	13,4
Прв-2256	2,89	2,84	1,73	12,6
Прв-2257	2,84	2,79	1,76	11,6
Середнє	2,83	2,78	1,65	12,5
ЕПІГЕНЕТИЧНІ РУДИ ТА ГІРСЬКІ ПОРОДИ				
10. Брекчії, катаклазити, мілоніти				
Прв-2258	3,61	3,52	2,49	12,7
Прв-2259	3,63	3,51	3,31	14,2

Прв-2260	3,57	3,45	3,36	15,3
Середнє	3,60	3,49	3,05	14,1
11. Метасоматити егіринові				
Прв-2261	3,95	3,92	0,76	19,7
Прв-2262	3,87	3,83	1,03	21,2
Прв-2263	3,89	3,84	1,29	20,4
Середнє	3,90	3,86	1,03	20,4
12. Метасоматити рибекітові				
Прв-2264	3,88	3,82	1,55	17,4
Прв-2265	3,84	3,77	1,82	16,7
Прв-2266	3,81	3,76	1,31	16,5
Середнє	3,84	3,78	1,56	16,9
13. Кварцити магнетитові окварцовані				
Прв-2267	3,59	3,55	1,11	22,4
Прв-2268	3,65	3,59	1,64	19,7
Прв-2269	3,64	3,61	0,82	21,4
Середнє	3,63	3,58	1,19	21,2
14. Кварцити магнетитові гіпергенно змінені				
Прв-2270	3,75	3,68	1,87	12,7
Прв-2271	3,87	3,75	3,10	13,4
Прв-2272	3,81	3,71	2,62	13,2
Середнє	3,81	3,71	2,53	13,1

Таблиця 2.

Фізичні та технічні показники руд і гірських порід Ганнівського родовища

Індекси проб	Фізичні та технічні показники			
	Густина, г/см ³	Об'ємна маса, г/см ³	Пористість, %	Міцність, од.
СИНГЕНЕТИЧНІ РУДИ ТА ГІРСЬКІ ПОРОДИ				
1. Кварцити магнетит-залізнослюдкові, залізнослюдко-магнетитові				
Анн-2226	3,93	3,89	1,02	16,4
Анн-2227	3,84	3,81	0,78	16,6
Анн-2228	3,81	3,77	1,05	15,8
Середнє	3,86	3,82	0,95	16,3
2. Кварцити магнетитові червоношаруваті				
Анн-2229	3,76	3,72	1,06	18,7
Анн-2230	3,74	3,69	1,34	18,1
Анн-2231	3,77	3,74	0,80	18,3
Середнє	3,76	3,72	1,07	18,4
3. Кварцити магнетитові сірошаруваті				
Анн-2232	3,69	3,64	1,36	18,4
Анн-2233	3,72	3,69	0,81	18,1
Анн-2234	3,65	3,6	1,37	17,8
Середнє	3,69	3,64	1,18	18,1
4. Кварцити кумінгтоніт-магнетитові				
Анн-2235	3,47	3,43	1,15	17,4
Анн-2236	3,58	3,53	1,40	15,8
Анн-2237	3,48	3,43	1,44	16,3
Середнє	3,51	3,46	1,33	16,5
5. Кварцити магнетит-кумінгтонітові				

Анн-2238	3,46	3,42	1,16	15,7
Анн-2239	3,37	3,32	1,48	16,5
Анн-2240	3,49	3,45	1,15	16,2
Середнє	3,44	3,40	1,26	16,1
6. Сланці та безрудні кварцити першого сланцевого горизонту				
Анн-2241	2,89	2,87	0,69	11,7
Анн-2242	2,93	2,89	1,37	12,6
Анн-2243	3,01	2,96	1,66	12,4
Середнє	2,94	2,91	1,24	12,2
7. Кварцити магнетит-силікатні нульового залізного горизонту				
Анн-2244	3,27	3,23	1,22	17,5
Анн-2245	3,19	3,14	1,57	17,4
Анн-2246	3,22	3,18	1,24	16,5
Середнє	3,23	3,18	1,34	17,1
8. Сланці та силікатні кварцити нульового сланцевого горизонту				
Анн-2247	2,85	2,82	1,05	11,5
Анн-2248	3,12	3,08	1,28	12,4
Анн-2249	3,24	3,19	1,54	11,8
Середнє	3,07	3,03	1,29	11,9
9. Кварцити магнетит-силікатні першої підпачки всячої пачки				
Анн-2250	3,37	3,31	1,78	17,8
Анн-2251	3,28	3,23	1,52	17,3
Анн-2252	3,34	3,28	1,80	16,7
Середнє	3,33	3,27	1,70	17,3
10. Кварцити магнетит-силікатні другої підпачки всячої пачки				
Анн-2253	3,42	3,37	1,46	17,4
Анн-2254	3,39	3,35	1,18	16,9
Анн-2255	3,37	3,31	1,78	16,4
Середнє	3,39	3,34	1,47	16,9

ЕПІГЕНЕТИЧНІ РУДИ ТА ГІРСЬКІ ПОРОДИ				
11. Брекчії, катаклазити, мілоніти				
Анн-2256	3,73	3,62	2,95	12,3
Анн-2257	3,69	3,58	2,98	13,7
Анн-2258	3,61	3,51	2,77	14,2
Середнє	3,68	3,57	2,90	13,4
12. Метасоматити егіринові				
Анн-2259	3,95	3,91	1,01	21,5
Анн-2260	3,84	3,81	0,78	20,5
Анн-2261	3,87	3,83	1,03	20,9
Середнє	3,89	3,85	0,94	21,0
13. Метасоматити рибекітові				
Анн-2262	3,81	3,76	1,31	17,3
Анн-2263	3,68	3,63	1,36	16,8
Анн-2264	3,75	3,71	1,07	17,9
Середнє	3,75	3,70	1,25	17,3
14. Кварцити магнетитові окварцовані				
Анн-2265	3,67	3,63	1,09	23,3
Анн-2266	3,61	3,58	0,83	22,8
Анн-2267	3,68	3,62	1,63	22,1
Середнє	3,65	3,61	1,18	22,7
15. Кварцити магнетитові гіпергенно змінені				
Анн-2268	3,84	3,74	2,60	13,4
Анн-2269	3,76	3,67	2,39	12,6
Анн-2270	3,81	3,71	2,62	14,1
Середнє	3,80	3,71	2,54	13,4

Додаток Г.

Таблиця 1.

Коефіцієнти міцності за М.М.Протод'яконовим (f). руд і гірських порід
Первомайського та Ганнівського родовищ

Руди та гірські породи	Світи, стратиграфічні горизонти	f
ПЕРВОМАЙСЬКЕ РОДОВИЩЕ		
<i>Руди й породи високої міцності</i>		
кварцити біотит-магнезiorибекіт-кумінгтоніт-магнетитові	7f	17,5
кварцити магнетит-біотит-магнезiorибекіт-кумінгтонітові	7s, 7f	17,0
сланці біотит-магнезiorибекіт-кварц-кумінгтонітові	7s	16,7
кварцити залізнослюдко-магнетитові	5f, 6f	17,4
кварцити магнетитові	5f, 6f	18,6
кварцити кумінгтоніт-магнетитові	5f, 6f	18,0
кварцити магнетит-кумінгтонітові	5f, 6f	17,4
метасоматити егіринові	5f, 6f	20,4
метасоматити рибекітові	5f, 6f	16,9
кварцити біотит-кумінгтоніт-магнетитові	1f, 2f	18,2
<i>Продовження табл.4.13</i>		
кварцити біотит-магнетит-кумінгтонітові	1f, 2f	17,8
<i>Породи помірної міцності</i>		
кварцити мусковіт-біотитові	gd	13,3
мармури доломітові	gd	12,5
кварцити мусковітові	sk	11,7
Брекчії	sx	14,1
Катаклазити	sx	13,7

кварцити залізнослюдко-мартитові	5f, 6f	13,8
кварцити мартитові	5f, 6f	14,1
кварцити дисперсногематит-мартитові	5f, 6f	13,2
<i>Породи низької міцності</i>		
Мергелі	KZ	6,2
сланці мусковіт-кварц-біотитові	gd	8,9
сланці кварц-мусковітові	sk	7,3
Мілоніти	sx	6,0
сланці каолініт-кварц-дисперсногематитові, каолініт-кварц-дисперсногетитові	sx	6,4
кварцити мартит-дисперсногематитові, мартит-дисперсногетитові	sx	7,1
кварцити кварц-мусковітові каолінізовані	sk	5,9
<i>Породи дуже низької міцності</i>		
сланці тальк-вмісні	sk	3,7
сланці кварц-мусковітові вивітрені	sk	4,1
глини, суглинки	KZ	1,6
Піски	KZ	0,4
ГАННІВСЬКЕ РОДОВИЩЕ		
<i>Руди й породи високої міцності</i>		
кварцити біотит-магнезіорибекіт-кумінгтоніт-магнетитові	3f, 2f, 1f в.п.	18,5
кварцити магнетит-біотит-магнезіорибекіт-кумінгтонітові	4s, 3s, 2s, 3f, 2f, 1f в.п.	17,4
сланці біотит-магнезіорибекіт-кварц-кумінгтонітові	4s, 3s, 2s	15,7
кварцити залізнослюдко-магнетитові	1f л.п.	16,3
кварцити магнетитові	1f л.п.	18,3
кварцити кумінгтоніт-магнетитові	1f л.п.	16,5
кварцити магнетит-кумінгтонітові	1f л.п.	16,1

метасоматити егіринові	1f л.п.	21,0
метасоматити рибекітові	1f л.п.	17,3
кварцити біотит-кумінгтоніт-магнетитові	0f	18,1
кварцити біотит-магнетит-кумінгтонітові	0f	17,5
<i>Породи помірної міцності</i>		
кварцити мусковіт-біотитові	gd	13,5
кварцити мусковітові	sk	12,2
Брекчії	sx	13,3
Катаклазити	sx	12,5
кварцити залізнослюдко-мартитові	1f л.п.	12,9
кварцити мартитові	1f л.п.	13,4
кварцити дисперсногематит-мартитові	1f л.п.	12,2
<i>Породи низької міцності</i>		
Мергелі	KZ	6,7
сланці мусковіт-кварц-біотитові	gd	8,5
сланці кварц-мусковітові	sk	7,3
Мілоніти	sx	5,8
сланці каолініт-кварц-дисперсногематитові, каолініт-кварц-дисперсногетитові	sx	7,1
кварцити мартит-дисперсногематитові, мартит-дисперсногетитові	sx	7,7
кварцити кварц-мусковітові каолінізовані	sk	6,3
<i>Породи дуже низької міцності</i>		
сланці тальк-вмісні	sk	4,1
сланці кварц-мусковітові вивітрені	sk	3,9
глини, суглинки	KZ	1,2
Піски	KZ	0,3

Додаток Д.

Список публікацій здобувача

1. Sg.Tikhlivets, V.Evtekhov, S.Tikhlivets, A.Urin Influence of tectonic processes on the stability of ore massifs of the Northern Iron Ore Region. Journ. Geol. Geograph. Geoecology, 2022, 41 (4). , p. 795-801. DOI [10.15421/112274](https://doi.org/10.15421/112274)

2. Євтехов В.Д., Тіхлівець Сг.В., Демченко О.С., Євтехов Є.В. Вплив природних факторів на стійкість розкритих гірничих масивів Кривбасу. Мінералогічний фактор. Геолого-мінералогічний вісник Криворізького національного університету, №1-2 (43-44). , 2020. Стор. 44-65. DOI 10.31721/2306-5443-2020-43-44-1-2-43-63

3. Тіхлівець Сг., В., Тіхлівець С.В. Фізичні властивості залізистих кварцитів як показник впливу на стійкість розкритих гірських масивів Ганнівського родовища. Геолого-мінералогічний вісник Криворізького національного університету, №1-2 (45-46). , 2021, С. 83-90. DOI 10.31721/2306-5443-2021-45-46-1-2-83-89.

4. Тіхлівець Сг., В., Тіхлівець С.В. Геологічні засади розробки 3D моделі стійкості бортів Ганнівського кар'єру Північного ГЗКу. Геолого-мінералогічний вісник Криворізького національного університету, №1 (49). , 2023, С. 26-32. 10.31721/2306-5443-2023-49-1-26-32

5. Тіхлівець Сг., В., Тіхлівець С.В. ГІС для моніторингу стійкості гірничих масивів Північного залізрудного району Криворізького басейну. Геолого-мінералогічний вісник Криворізького національного університету, №2 (50). , 2023, С.49-57. 10.31721/2306-5443-2023-50-2-49-57

6. Тіхлівець С.В., Філенко В.В., Трунін О.М., Тіхлівець Сг.В., Юрін А.О. Вплив гіпергенних процесів на залізо-кремнисту формацію Північного району Кривбасу. Збірник праць всеукраїнської конференції «Від мінералогії і геогнозії до геохімії, петрології, геології та геофізики: фундаментальні і прикладні тренди XXI століття» (MinGeoIntegration XXI), 23-25 вересня 2020 року., Київ, С. 209-214

7. Трунін О.М., Кульков О.М., Тіхлівець С.В., Філенко В.В., Тіхлівець Сг.В., Юрін А.О., Смірнова Г.Я. Гетит глибинної кори вивітрювання залізних руд родовища шахти «Ювілейна» (Криворізький басейн). Розвиток промисловості та суспільст-

ва. Міжнародна науково-практична конференція. Матеріали конференції 17-12 листопада 2020 року, Кривий Ріг. Видав.центр КНУ, С. 47-51.

8. Євтехов В.Д., Тіхлівець Сг., В., Євтехов Є.В. Геологічні фактори утворення руд і гірських порід Північного залізорудного району. Седименація та діагнез. Розвиток промисловості та суспільства. Міжнародна науково-практична конференція. Матеріали конференції 17-12 листопада 2020 року, Кривий Ріг. Видав.центр КНУ, С. 59-61.

9. Sg.Tikhlivets, V. Evtekhov, S.Tikhlivets, N. Holiver. Metamorphism as the main geological process of genesis of ore and rocks: case of the Northern iron-ore district of Kryvyi Rih basin. Widening our horizons. The 16th International Forum for Students and Young Researchers. April 21-22, 2021, Dnipro University of Technology , 2021, p. 460-461.

10. Evtekhov V.D., Demchenko O.S, , Evtekhov E.V., Tikhlivets Sg.V. Geological factors of the stability of the open pit walls. Book of Abstracts of the 3rd International Conference on Sustainable Futures: Environmental, Technological, Social and Economic Matters, Ukraine, 24-27 May 2022. Ed. by Anna Iatsyshyn. Kyiv, 2022, p. 22-23.

11. Тіхлівець Сг.В., Євтехов В.Д., Тіхлівець С.В. Вплив хімічного складу магнетитових кварцитів на стійкість гірських масивів залізорудних родовищ Криворізького басейну Збірник праць Всеукраїнської конференції «Від мінералогії і геогнозії до геохімії, петрології, геології та геофізики: фундаментальні і прикладні тренди XXI століття» (MinGeoIntegration XXI), 28-30 вересня 2022 року.С. 126-129.

12. Євтехов В.Д., Тіхлівець Сг.В., Тіхлівець С.В. Склад магнетиту як показник варіативності стійкості гірських масивів залізорудних родовищ Кривбасу. Геологічна будова та корисні копалини України: Збірник тез всеукраїнської наукової конференції (Київ, 12-13 жовтня 2022 р.) НАН України, Ін-т геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка. Київ, 2022., С.164-167.

13. Тіхлівець Сг.В., Євтехов В.Д., Тіхлівець С.В. Епігенетичні процеси як чинник впливу на стійкість гірничих масивів Північного залізорудного району. Мінералогія України: сучасний стан і перспективи: Дванадцяті наукові читання імені ака-

деміка Євгена Лазаренка: матеріали. Відп. ред. О. Матковський. Львів : Видав. центр ЛНУ імені Івана Франка, 2022. С. 21-25.

14. Tikhlivets. S., Tikhlivets Sg. Liquid metal mineralization of mesomat zone in ores of gneiss-schist complex of Kryvyi Rih direct. 5th International Scientific and Technical Internet Conference “Innovative development of resource-saving technologies and sustainable use of natural resources”. Book of Abstracts. - Petroșani, Romania: UNIVERSITAS Publishing, 2022. P. 72-73.

15. Тіхлівець С.В. Передумови складання спеціалізованої ГІС сейсмічної стійкості гірничих масивів Північного залізрудного району Криворізького басейну. Збірник матеріалів Всеукраїнської науково-практичної конференції «Євтеховські читання», 7 квітня 2023, Кривий Ріг, 2023, С. 92-95.

16. Тіхлівець С.В., Харитонов В.М., Тіхлівець С.В. Геологічні фактори впливу на стійкість гірничих масивів Північного залізрудного району Криворізького басейну. Стратиграфічний фактор. Збірник матеріалів Всеукраїнської науково-практичної конференції «Євтеховські читання», 5 квітня 2024, Кривий Ріг, 2024, С. 87-89.

Апробація результатів дисертації:

1. Всеукраїнська конференція «Від мінералогії і геогнозії до геохімії, петрології, геології та геофізики: фундаментальні і прикладні тренди ХХІ століття» (MinGeoIntegration ХХІ). , 23-25 вересня 2020 року (дистанційна участь).

2. Міжнародна науково-практична конференція «Розвиток промисловості та суспільства». Матеріали конференції 17-12 листопада 2020 року, Кривий Ріг. (очна участь).

3. The 16th International Forum for Students and Young Researchers. «Widening our horizons», April 21-22, 2021 (заочна участь).

4. The 3rd International Conference on Sustainable Futures: Environmental, Technological, Social and Economic Matters, Ukraine, 24-27 May 2022 (заочна участь).

5. Всеукраїнська конференція «Від мінералогії і геогнозії до геохімії, петрології, геології та геофізики: фундаментальні і прикладні тренди XXI століття» (MinGeoIntegration XXI). , 28-30 вересня 2022 року (дистанційна участь).

6. Всеукраїнська наукова конференція «Геологічна будова та корисні копалини України», Київ, 12-13 жовтня 2022 р. (заочна участь).

7. The 5th International Scientific and Technical Internet Conference “Innovative development of resource-saving technologies and sustainable use of natural resources”. Petroşani, Romania, 11 November, 2022 (дистанційна участь).

8. Всеукраїнська науково-практична конференція «Євтеховські читання», Кривий Ріг, 7 квітня 2023 (очна участь).

9. Всеукраїнської науково-практичної конференції «Євтеховські читання», Кривий Ріг, 5 квітня 2024 (очна участь).