

22. Pivinskii Y.E., Grishpun E.M., Gorokhovskii A.M. Cement-Free Refractory Concretes. Part 12–2. Siliceous Composition HCBS and Ceramic Concretes. *Refractories and Industrial Ceramics*, 2022, vol. 62, pp. 640-652. doi: <https://doi.org/10.1007/s11148-022-00655-3>.
23. Volkova O., Janke D. Influence of the Lining on the Thermal Behaviour of a Teeming Ladle. *Steel Research International*, 2005, vol. 76(4), pp. 313-319. doi: <https://doi.org/10.1002/srin.200506014>.
24. Simonov K.V., Zagnoiko V.V., Burdina G.V. Influence of technological parameters on the properties and wear resistance of periclase-carbon refractories. *Refractories*, 1988, vol. 29, pp. 734-741. doi: <https://doi.org/10.1007/BF01280348>
25. Semchenko G.D., Povshuk V.V., Starolat E.E. Periclase-Carbon Refractory Properties with a Different Amount of Graphite in the Charge Using Liquid PFR and Graphite as Modifiers. *Refractories and Industrial Ceramics*, 2016, vol. 57, pp. 273-278. doi: <https://doi.org/10.1007/s11148-016-9967-9>.

Рецензент: М.М. Бойко
канд. техн. наук, доц., УДУНТ

Стаття надійшла 20.02.2023

Стаття прийнята 23.03.2023

УДК 622.2:622.7

doi: 10.31498/2225-6733.46.2023.288168

© Кривенко В.В.¹, Чупринов С.В.², Олійник Т.А.³, Харітонов В.М.⁴,
Скляр Л.В.⁵

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПРОБИ ЕФІОПСЬКОЇ ЗАЛІЗНОЇ РУДИ АРАВІЙСЬКО-НУБІЙСЬКОГО ЩИТА. ЧАСТИНА 2. МІКРОСКОПІЧНИЙ АНАЛІЗ ПРОБ РУДИ +40,0+5,0 мм

Уточнений мінеральний склад різновидів із матеріалу класів крупності 10-20 мм і 20-40 мм досліджуваної проби руди. Підготовлені прозорі та поліровані шліфи вищеназваних гранулометричних. Проведене мікроскопічне вивчення за допомогою мікроскопу прохідного та відбиваючого світла «Carl Zeiss Jena NU-2 Microscope». Виявлено, що основними рудними мінералами дослідженої руди є дисперсний гематит та гідрогематит, а їх кількість складає близько 54,0 % від загального обсягу. Показано, що другорядними рудними мінералами у досліджуваній сировині є гетит та гідрогетит. Виявлено, що основним нерудним мінералом в досліджуваній сировині є кварц, вміст якого становить у середньому 30 %. Показана наявність другорядного нерудного мінералу, який має глинисті властивості та представлений каолінітом.

Ключові слова: залізна руда, аравійсько-нубійський щит, мікроскопічний аналіз, мінералогія, вміст заліза.

¹ канд. техн. наук, доцент, Навчально-науковий технологічний інститут Державного університету економіки і технологій, м. Кривий Ріг, ORCID: 0000-0001-7822-6358

² канд. техн. наук, доцент, Навчально-науковий технологічний інститут Державного університету економіки і технологій, м. Кривий Ріг, ORCID ID: 0000-0001-8605-3434, itchupa@gmail.com

³ д-р техн. наук, професор, Криворізький національний університет, м. Кривий Ріг, ORCID: 0000-0002-0315-7308

⁴ канд. техн. наук, доцент, Криворізький національний університет, м. Кривий Ріг, ORCID: 0000-0002-3358-479X

⁵ канд. техн. наук, доцент, Криворізький національний університет, м. Кривий Ріг, ORCID: 0000-0002-2721-1436

V.V. Krivenko, E.V. Chuprinov, T.A. Oliynyk, T.A. Haritonov, L.V. Skliar. Study of technological properties of the sample ethiopian iron ore of the arabian-nubian shield. Part 2. Microscopic analysis of ore samples with a thickness of +40.0+5.0 mm. As a result of the research, the mineral composition of the mineralogical and petrological varieties of material of the 10-20 mm and 20-40 mm size classes of the studied ore sample was specified. Transparent and polished sections of the above-mentioned granulometric samples were prepared. Microscopic examination was carried out using a transmitted and reflected light microscope «Carl Zeiss Jena NU-2 Microscope». A description of the discovered minerals was completed. It was found that the main ore minerals of the studied ore are dispersed hematite and hydrohematite, and their amount is about 54.0% of the total volume. Microscopic analysis also revealed hydrohematite spherulites, including in the intergranular space in quartz aggregates. It is shown that secondary ore minerals in the studied raw materials are goethite and hydrogoethite. Microscopic analysis showed their content at the level of 4.0 %. The color of goethite and hydrogoethite, which are represented by iron hydroxides of yellow, brown, brown and black color and their form in the form of nodular aggregates, spherulites of crusts, and nest-like aggregates, is also determined. It was found that the main non-metallic mineral in the studied raw material is quartz, the content of which is on average 30 %. This mineral in the sample of the studied ore is characterized by a variety of morphological features and a wide range of grain sizes – from several micrometers to several centimeters. Microscopic examination of quartz showed that it is represented by xenomorphic grains with a complex nature of fusions with other minerals, rounded and acute-angled grains, chalcedony (agat) grains and thin-prismatic crystals. The presence of a secondary non-ore mineral, which has clay properties and is represented by kaolinite, is also shown. An additional study was carried out, in which chalcopyrite – an additional component of iron ore raw materials – was analyzed. The conducted microscopic studies made it possible to draw a conclusion about the mineral and petrological characteristics of the raw material. It is shown that the type of iron ore of the Arabian-Nubian shield is similar to ores of volcanic-sedimentary origin and brown iron ores.

Keywords: iron ore, Arabian-Nubian shield, ore mining, mineralogy, iron content.

Постановка проблеми. Реалізація науково-дослідного потенціалу українських спеціалістів у області гірничо-металургійного циклу, з прицілом на впровадження великих проектів саме в Україні, на сьогоднішній день є доволі складним завданням. Враховуючи це, здійснюється пошук партнерів для проведення робіт в інших країнах. Прикладом такої роботи є представлене дослідження. На сьогоднішній день гірничо-металургійна галузь в Ефіопії не є розвинутою на достатньому рівні, тому такі роботи можуть слугувати не тільки для реалізації потенціалу українських науковців, але і для побудови міцних економічних зв'язків між Україною та країнами Африки, що є актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У першій частині представленої роботи [1] було проведено дослідження проби вулканогенно-осадової породи із Аравійсько-Нубійського щита. Було показано, що структура цієї породи була дрібнозерниста, оолітова, місцями роговикова, порфірова порфіроподібна, рідше псаммітова та псефітова. Текстура представленої породи руди у своїй основі порошкова, плямиста, місцями конгломератоподібна брекчієподібна, пустотна, вкраплена, мигдалекам'яна. Також було проведено дослідження мінерального складу породи, яке показало, що проба породи представлена, в основному, дисперсним гематитом (Fe_2O_3), гідрогематитом ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) та кварцем (SiO_2). Також є гетит (FeOOH), гідрогетит ($\text{FeOOH} \cdot n\text{H}_2\text{O}$), колініт ($\text{Al}_2[\text{Si}_2\text{O}_5](\text{OH})_4$) і кальцит ($\text{Ca}_2[\text{CO}_3]$). Відзначено одиничний вкрапленник халькопіриту (CuFeS_2). Аналітичний огляд [2-7] найбільш значимих робіт, присвячених генезису аравійсько-нубійського щита, дослідженням геолого-петрографічних вулканогенних хребтів та властивостям порід залізних руд Ефіопії, був представлений у першій статті [1] цього дослідження.

Мета статті – уточнити мінеральний склад мінеролого-петрологічних різновидів із матеріалу класу +40 мм і виконати електронно-мікроскопічний аналіз дослідженої проби.

Виклад основного матеріалу. Для уточнення мінерального складу мінеролого-петрологічних різновидів із матеріалу класів крупності 10-20 мм і 20-40 мм були виготовлені прозори та

поліровані шліфи. Мікроскопічне вивчення проводилося за допомогою мікроскопу прохідного та відбиваючого світла «Carl Zeiss Jena NU-2 Microscope». Результати мікроскопічного дослідження відносяться до проб 10-20 мм (рис. 1-4) та 20-40 мм (рис. 5-8) [1, табл. 4 і 3, відповідно].

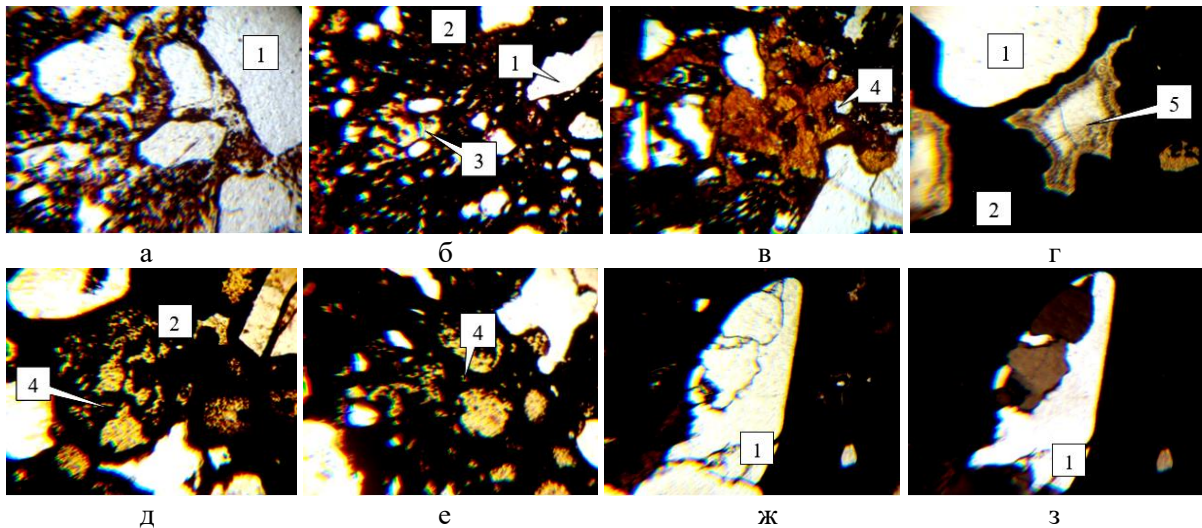


Рис. 1 – Мінерали мало-глинистого різновиду в прохідному світлі, $\times 90$: 1 – кварц; 2 – дисперсногематит-гідрогематитовий цемент; 3 – глинистий мінерал; 4 – гетит-гідрогетитові агрегати; 5 – халцедон (агат); а-в – проба 1_1 [1, табл. 4]; г-з - проба 1_2 [1, табл. 4]; а-ж – через призму Ніколя (паралельний зсув); з – через призму Ніколя (X – схрещені ніколі)

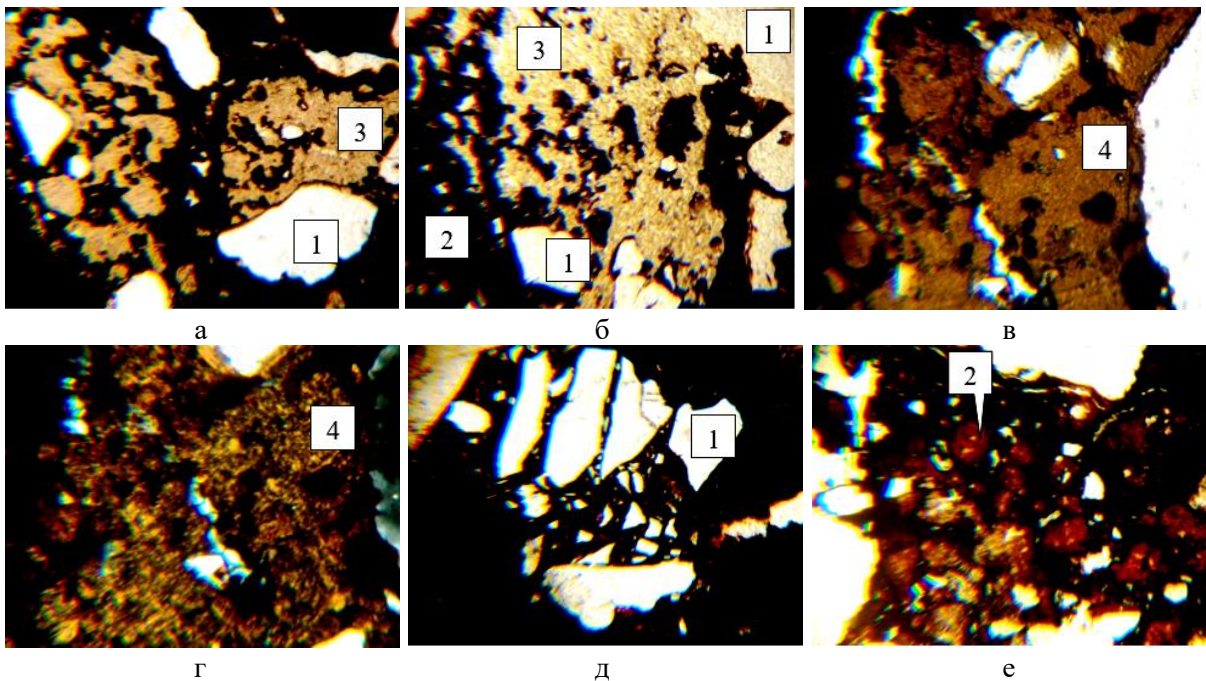


Рис. 2 – Мінерали середньо-глинистого різновиду в прохідному світлі, $\times 90$: 1 – кварц; 2 – дисперсногематит-гідрогематитовий цемент; 3 – глинистий мінерал; 4 – гетит-гідрогетитові агрегати; 5 – халцедон (агат); а-б – проба 2_1 [1, табл. 4]; в-г – проба 2_2 [1, табл. 4]; д-е – проба 2_3 [1, табл. 4]; а-в, д, е – через призму Ніколя (паралельний зсув); г – через призму Ніколя (X – схрещені ніколі)

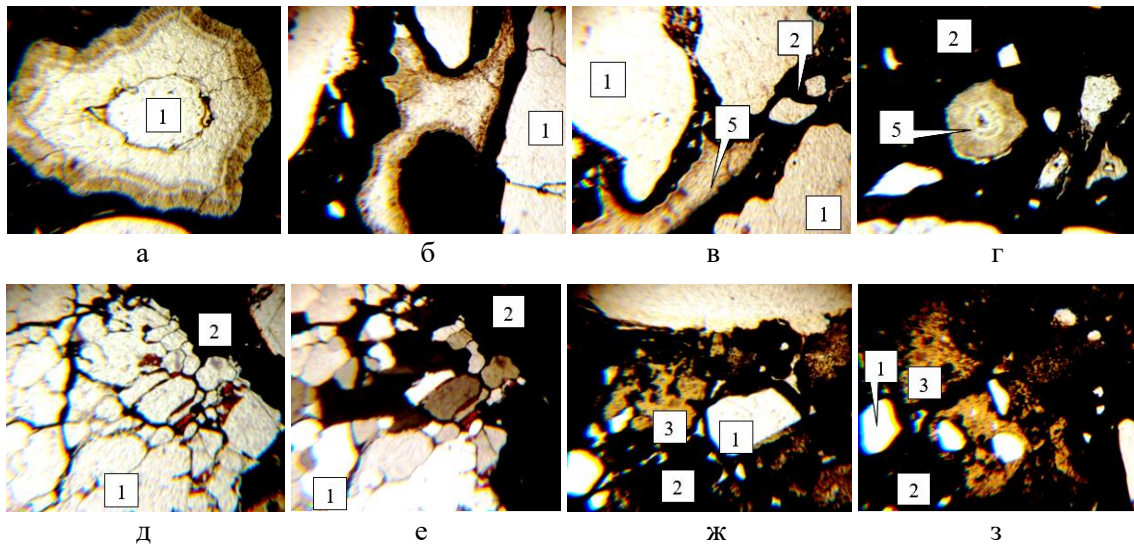


Рис. 3 – Мінерали убого-глинистого різновиду в прохідному світлі, $\times 90$: 1 – кварц; 2 – дисперсногематит-гідрогематитовий цемент; 3 – глинистий мінерал; 4 – гетит-гідрогетитові агрегати; 5 – халцедон (агат); а-г – проба 4_1 [1, табл. 4]; д-з – проба 4_2 [1, табл. 4]; а-д, ж, з – через призму Ніколя (паралельний зсув); е – через призму Ніколя (X – схрещені ніколі)

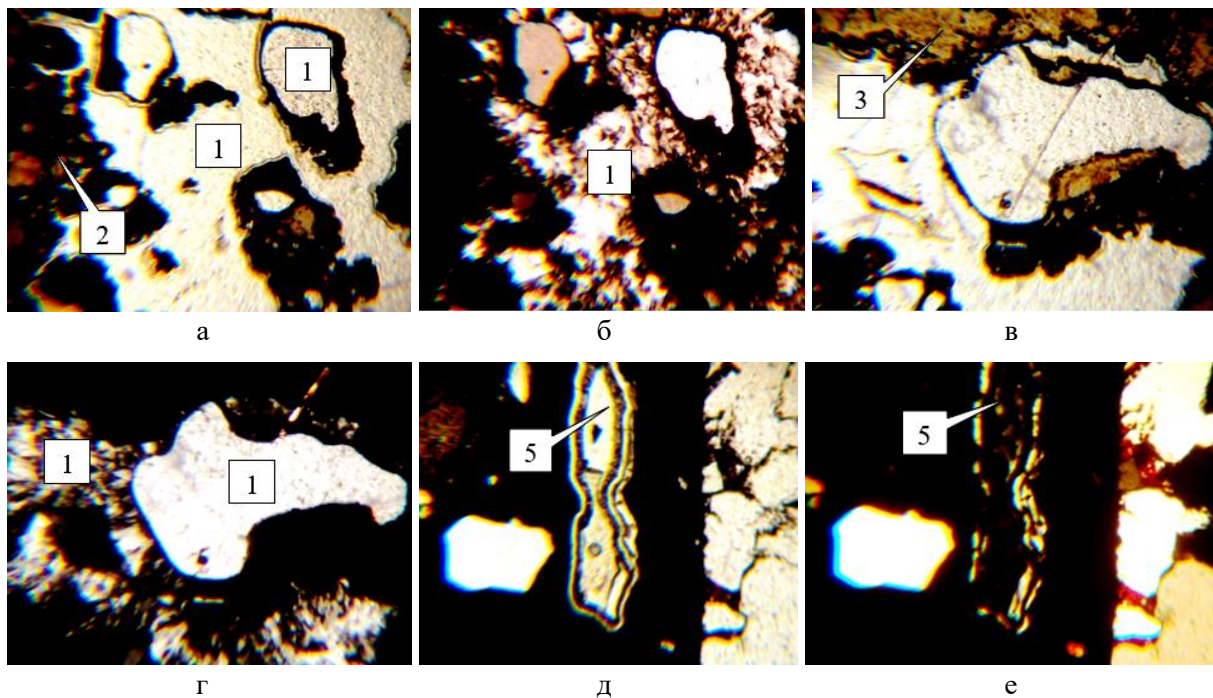


Рис. 4 – Мінерали убого-глинистого різновиду в прохідному світлі, $\times 90$: 1 – кварц; 2 – дисперсногематит-гідрогематитовий цемент; 3 – глинистий мінерал; 4 – гетит-гідрогетитові агрегати; 5 – халцедон (агат); проба 4_3 [1, табл. 4]; а-д, ж, з – через призму Ніколя (паралельний зсув); е – через призму Ніколя (X – схрещені ніколі)

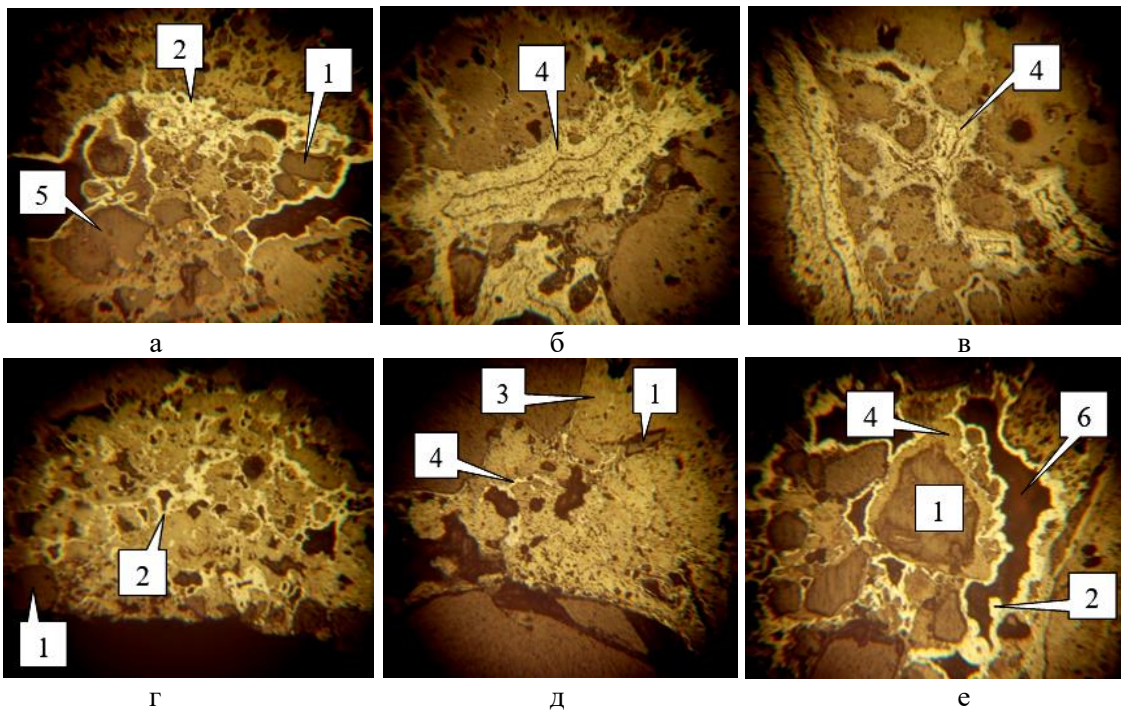


Рис. 5 – Мінерали мало-глинистого різновиду у відбитому світлі, $\times 60$, проба 1_1 [1, табл. 3]: 1 – кварц; 2 – дисперсногематит-гідрогематитовий цемент; 3 – глинистий мінерал; 4 – гетит-гідрогетитові агрегати; 5 – халцедон (агат); 6 – порожнини; а-д – через призму Ніколя (паралельний зсув); е – через призму Ніколя (X – схрещені ніколі)

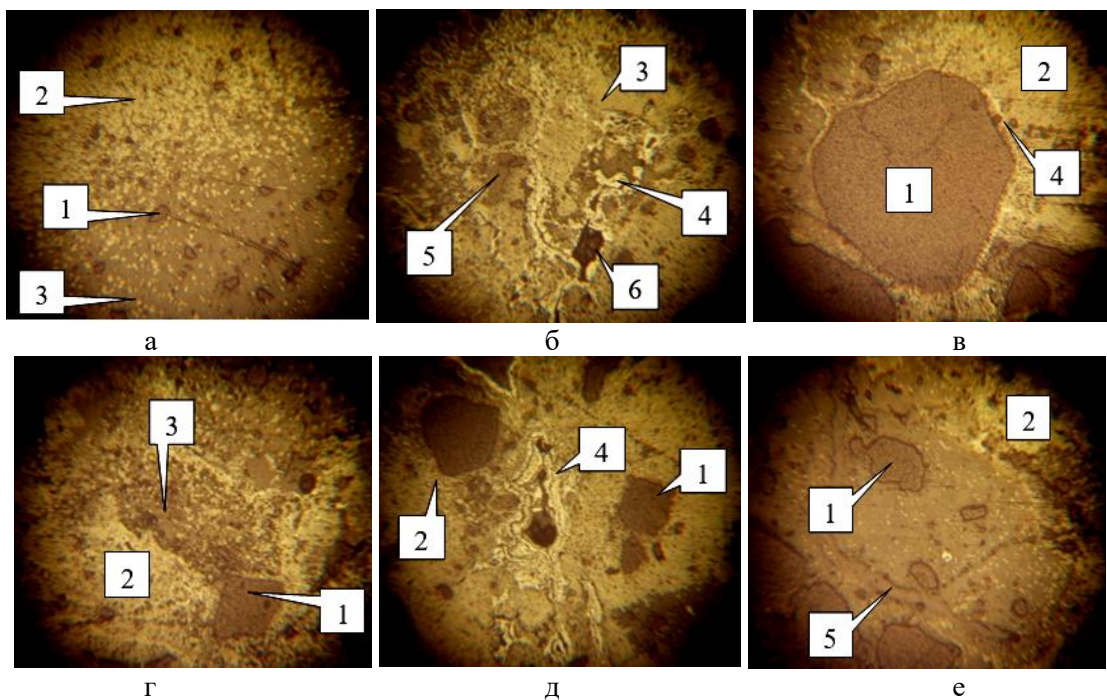


Рис. 6 – Мінерали мало-глинистого різновиду у відбитому світлі, $\times 60$, проба 2_1 [1, табл. 3]: 1 – кварц; 2 – дисперсногематит-гідрогематитовий цемент; 3 – глинистий мінерал; 4 – гетит-гідрогетитові агрегати; 5 – халцедон (агат); 6 – порожнини; а-д – через призму Ніколя (паралельний зсув); е – через призму Ніколя (X – схрещені ніколі)

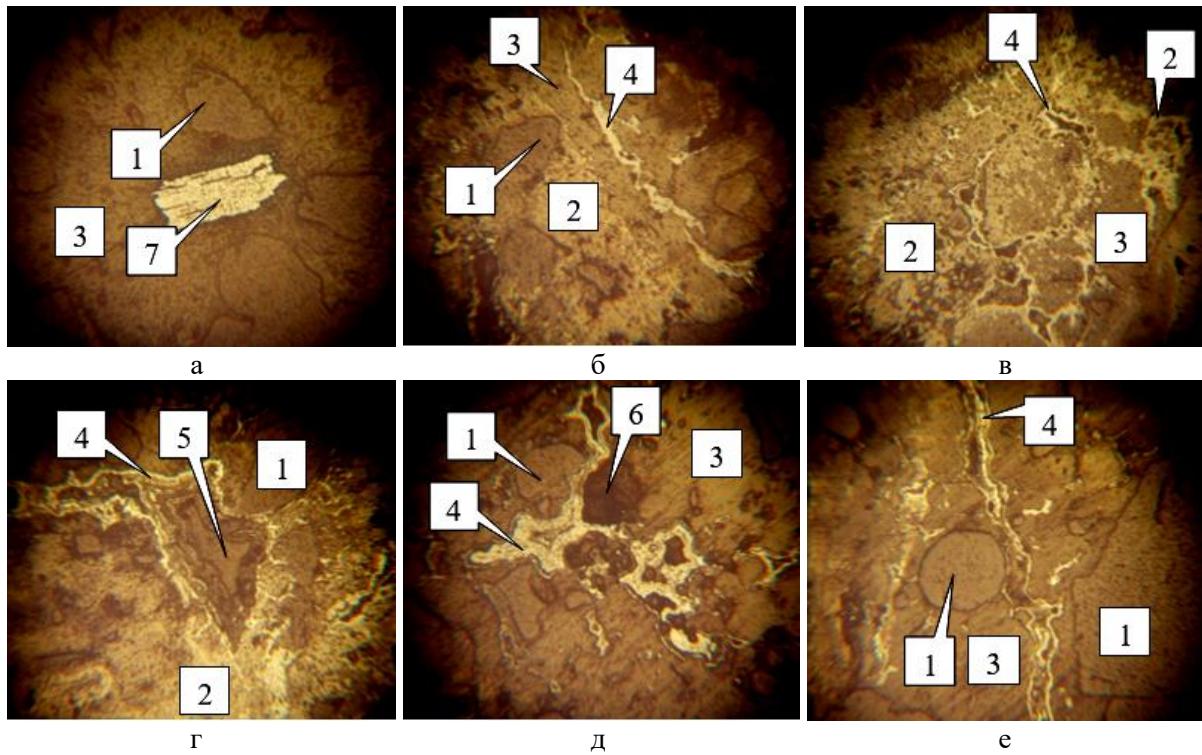


Рис. 7 – Мінерали убого-глинистого різновиду у відбитому світлі, $\times 60$: 1 – кварц; 2 – дисперсногематит-гідрогематитовий цемент; 3 – глинистий мінерал; 4 – гетит-гідрогетитові агрегати; 5 – халцедон (агат); 6 – порожнини; а-г – проба 3_1 [1, табл. 3]; д, е – проба 3_2 [1, табл. 3]

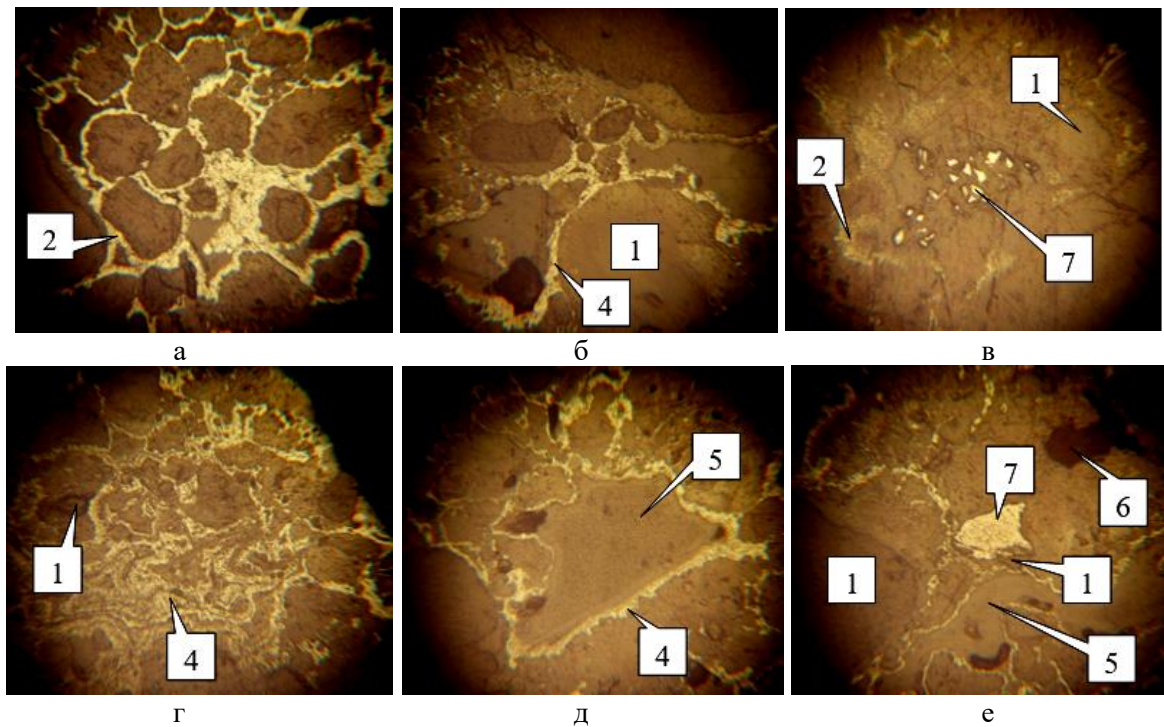


Рис. 8 – Мінерали убого-глинистого різновиду у відбитому світлі, $\times 60$: 1 – кварц; 2 – дисперсногематит-гідрогематитовий цемент; 3 – глинистий мінерал; 4 – гетит-гідрогетитові агрегати; 5 – халцедон (агат); 6 – порожнини; а-в – проба 4_2 [1, табл. 3]; г-е – проба 4_3 [1, табл. 3]

Проведення мікроскопічного аналізу дозволило також виконати опис виявлених мінералів. Основними рудними мінералами дослідженої руди є дисперсний гематит та гідрогематит. Їх кількість складає близько 54,0% від загального обсягу. Ці мінерали складають основну масу породи, що обумовлює її, переважно, червоний колір. Виступають цементом для індивідів та агрегатів інших мінералів (рис. 1-4). Розмір зерен дисперсного гематиту та гідрогематиту становить одиниці мікрометрів. Іноді трапляються сфероліти гідрогематиту (рис. 2, е). Також його індивіди займають міжзерновий простір в кварцових агрегатах (рис. 3, д). У матеріалі убого-глинистого різновиду зрідка відзначаються уламки гематиту (рис. 7, а, рис. 8, в), іноді у зростках з кварцом (рис. 8, е).

Другорядними рудними мінералами у досліджуваній сировині з вмістом близько 4,0 % є гетит та гідрогетит – гідроксиди заліза жовтого, коричневого, бурого та чорного кольору. Вони зустрічаються у вигляді натічних агрегатів, сферолітів скорінок, гніздоподібних агрегатів у гематит-гідрогематитовому цементі (рис. 1, д, е, рис. 2, в, г, рис. 7, д, е).

Основним нерудним мінералом в досліджуваній сировині є кварц (вміст близько 30 %). Він характеризується різноманітністю морфологічних особливостей та широким діапазоном розміру зерен – від кількох мікрометрів до кількох сантиметрів ([1, рис. 3, е]; рис. 1, а, ж та рис. 3, в).

Морфологічно кварц представлений:

- ксеноморфними зернами – зі складним характером зрощень з іншими мінералами, особливо із залізвмісним цементом (рис. 1, а, е; рис. 7, б);
- округлими зернами – така форма характерна для окатаних уламків (теригенна складова сировини – [1, рис. 3, е і рис. 4, е]; рис. 6, в) і для вакуолей (вулканогенна складова – рис. 1, д, ж; рис. 4, а; рис. 7, е);
- гострокутними зернами – теригенними уламками або пірокластами, які є продуктами викидів вулканів (рис. 2, д, рис. 5, а, д, е, рис. 6, г, е);
- халцедонові (агатові) жовна (рис. 3, а, г, рис. 4, д) і скоринки (рис. 1, г, рис. 3, б, в, рис. 5, а, рис. 6, е, рис. 7, г, рис. 8, д, е);
- тонко-призматичні кристали – продукти розкристалізації халцедонових скорінок (рис. 4, б, г).

Глинистий мінерал представлений, найімовірніше, каолінітом та є другорядним нерудним мінералом. Його вміст у досліджуваній сировині близько 9,0 %. Зустрічається у вигляді скорінок, примазок, іноді суцільних порошкових агрегатів білого, світло-сірого, світло-жовтого або світло-рожевого кольору [1, рис. 2-5], часто в проростаннях з дисперсногематит-гідрогематитовими агрегатами (рис. 2, а, б). У глинистому цементі зосереджені зерна кварцу (див. рис. 3, ж, з і рис. 7, д, е). Розмір індивідів глинистого мінералу не перевищує десяти мікрометрів.

Кальцит має у досліджуваному сировину різко підпорядковану роль. Його вміст не перевищує 2,0 %. Встановлений у кусковому матеріалі та полірованих препаратах по реакції з розведеною соляною кислотою та просторово присвячений дисперсногематит-гідрогематитовому цементу.

Додатковим компонентом вивченої залізорудної сировини є халькопірит (рис. 9), який був встановлений у вигляді одиничного вкраплення розміром до 3 мм в одному з уламків класу крупності +40,0 мм. Уламок представляє мало-глинистий різновид.

У таблиці наведено мінеральний склад матеріалу крупністю +40,0+5,0 мм.

Мінерало-петрологічна характеристика сировини свідчить про його близькість, або до руди вулканогенно-осадового походження за типом родовища Західний Каражал (Казахстан), або до бурозалізнякавих руд за типом зони окислення ультраосновних порід. Однак яскравою відмінною рисою досліджуваної сировини є помітно більша кількість кварцу, порівняно з відомими прикладами промислових типів родовищ заліза. Ймовірно, вихідна вулканогенно-осадова порода відповідала базальтам або андезито-базальтам, для яких характерні мигдалики, заповнені кварцом або його кришталеvim різновидом – халцедоном.

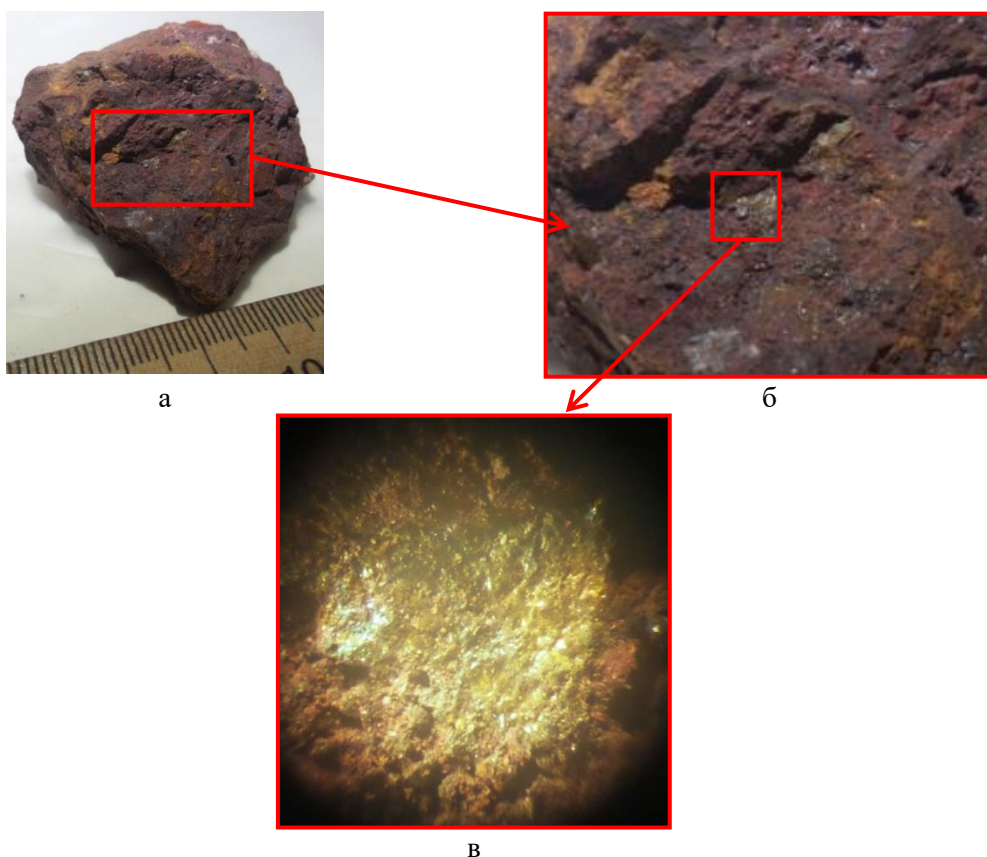


Рис. 9 – Одиначне вкраплення халькопіриту, матеріал класу крупності +40 мм: а – загальний вигляд уламку; б – фрагмент уламку з вкрапленням, збільшено у 2,5 рази; в – вкраплення халькопіриту під мікроскопом ×17

Таблиця

Мінеральний склад матеріалу верхніх класів (+40,0+5,0 мм)
крупності вихідної проби залізородної сировини

Клас крупності, мм	Масова доля мінералів, %					Сума
	диспергований гематит + гідрогемацит	гетит + гідрогецит	глинистий мінерал	кварц	кальцит	
в класах крупності вихідної руди						
+40,0	58,42	4,00	9,69	25,82	2,07	100,00
-40,0+20,0	48,68	3,31	8,41	37,95	1,65	100,00
-20,0+10,0	53,59	3,66	11,28	29,71	1,76	100,00
-10,0+5,0	43,67	3,36	18,11	33,44	1,42	100,00
в класах крупності після розділення						
+40,0	28,35	1,94	4,70	12,53	1,01	48,53
-40,0+20,0	18,93	1,29	3,27	14,76	0,64	38,89
-20,0+10,0	3,38	0,23	0,71	1,87	0,11	6,30
-10,0+5,0	0,90	0,07	0,37	0,69	0,03	2,06
Всього	51,56	3,53	9,05	29,85	1,79	95,78

Висновки

1. Проведення мікроскопічного аналізу дозволило виконати опис виявлених мінералів. Основними рудними мінералами дослідженої руди є дисперсний гематит та гідрогемацит. Другорядними рудними мінералами у досліджуваній сировині з вмістом близько 4,0 % є гетит та

гідроgetит – гідрокси́ди залі́за жо́втого, ко́ричнево́го, бу́рого та чо́рного ко́льору. Основним не-рудним мінералом в досліджуваній сировині є кварц.

2. Глинистий мінерал представлений, найімовірніше, каолінітом та є другорядним нерудним мінералом.

3. Мінерало-петрологічна характеристика сировини свідчить про його близькість, або до руди вулканогенно-осадового походження за типом родовища Західний Каражал (Казахстан) або до бурозалізнякових руд.

4. На наступному етапі дослідження буде проведений аналіз матеріалу крупністю -5,0+3,0 мм.

Перелік використаних джерел:

1. Дослідження технологічних властивостей проби ефіопської залізної руди аравійсько-нубійського щита. Частина 1. Дослідження речовинного складу проби руди / В. Кривенко, Є. Чупринов, Т. Олійник, В. Харітонов, Ю. Реков. *Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки.* 2022. Вип. 44. С. 20-27. DOI: <https://doi.org/10.32782/2225-6733.44.2022.3>.
2. Mammo Ghebre W. Opportunities for iron resources development in Ethiopia. *The Seventh International Conference on the Geology of Africa*, Assiut, Egypt, 24-26 November 2013. Assiut, 2013. Pp. 15-29.
3. Zeherudin I., Baraki A., Berhe H. Study of development of iron ore and metallurgy industries: challenges, prospects and policy/strategy options (2015-2025). Addis Ababa: FDRE, Policy Study and Research Center, 2017. 175 p.
4. Abd El-Wahed M., Attia M. Genesis of the gneissic core complexes in the Arabian-Nubian Shield and its tectonic implications: A regional overview. *Journal of Asian Earth Sciences*. 2022. Vol. 236. Article 105337. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2022.105337>.
5. De Fino M., La Volpe L., Lirer L. Geology and volcanology of the Edd-Bahar Assoli area (Ethiopia). *Bulletin Volcanologique*. 1978. Vol. 41. Pp. 32-42. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02597681>.
6. Relations between Tectonics and Magmatology in the Northern Danakil Depression (Ethiopia) / F. Barberi, S. Borsi, G. Ferrara, G. Marinelli, J. Varet. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*. 1970. Vol. 267, № 1181. Pp. 293-311. DOI: <https://doi.org/10.1098/rsta.1970.0037>.
7. Ahmed H. Magmatic (Orthomagmatic) Deposits (Ore Deposits Associated with Mafic–Ultramafic Complexes). In: *Mineral Deposits and Occurrences in the Arabian–Nubian Shield*. Earth and Environmental Sciences Library, 2022. 512 p. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-96443-6_3.

References:

1. Krivenko V.V., Chuprinov E.V., Oliynyk T.A., Haritonov V.M., Rekov Y.V. Study of technological properties of the sample ethiopian iron ore of the arabian-nubian shield. Part 1. Study of the substance composition of the ore sample. *Reporter of the Priazovskyi State Technical University. Section: Technical sciences*, vol. 44, 2022, pp. 20-27. doi: <https://doi.org/10.32782/2225-6733.44.2022.3>. (Ukr.)
2. Mammo Ghebre W. Opportunities for iron resources development in Ethiopia. *The Seventh International Conference on the Geology of Africa*. Assiut, 2013, pp. 15-29.
3. Zeherudin I., Baraki A., Berhe H. *Study of development of iron ore and metallurgy industries: challenges, prospects and policy/strategy options (2015-2025)*. Addis Ababa, FDRE, Policy Study and Research Center Publ., 2017. 175 p.
4. Abd El-Wahed M., Attia M. Genesis of the gneissic core complexes in the Arabian-Nubian Shield and its tectonic implications: A regional overview. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2022, vol. 236, article 105337. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2022.105337>
5. De Fino M., La Volpe L., Lirer L. Geology and volcanology of the Edd-Bahar Assoli area (Ethiopia). *Bulletin Volcanologique*, 1978, vol. 41, pp. 32-42. doi: <https://doi.org/10.1007/BF02597681>.
6. Barberi F., Borsi S., Ferrara G., Marinelli G., Varet J. Relations between Tectonics and Magmatology in the Northern Danakil Depression (Ethiopia). *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, 1970, pp. 292-311. doi:

<https://doi.org/10.1098/rsta.1970.0037>.

7. Ahmed H. *Magmatic (Orthomagmatic) Deposits (Ore Deposits Associated with Mafic-Ultramafic Complexes)*. In: Mineral Deposits and Occurrences in the Arabian–Nubian Shield. 2022. 512 p. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-96443-6_3.

Рецензент: В.Й. Засельський,
д-р техн. наук, проф., ННТІ ДУЕТ

Стаття надійшла 08.03.2023

Стаття прийнята 30.04.2023

УДК 669.09.26

doi: 10.31498/2225-6733.46.2023.288176

© Руських В.П.¹, Хавалиць Ю.В.²

ПРО ПЕРЕХІД НА ВОДНЕВУ МЕТАЛУРГІЮ

У статті показано, що зміна клімату це не лише потепління, а й надзвичайні природні явища (посухи, повені, штори, смерчі), що призводять до значної економічної шкоди. Потепління клімату спричинене підвищенням концентрації парникових газів в атмосфері Землі. Основним завданням є зниження викидів у довкілля діоксиду вуглецю. Здійснено аналіз міжнародних документів, таких як Кіотський протокол, Паризька кліматична угода, спрямована на скорочення викидів парникових газів в атмосферу. Показано, що значна кількість CO₂ надходить в атмосферу при виробництві чавуну та сталі, наведено дані про кількість викидів діоксиду вуглецю при виплавці сталі в Україні та на металургійному комбінаті «Азовсталь». Зроблено критичний аналіз існуючої технології виробництва сталі, що відрізняється високою ефективністю, але потребує значних капітальних вкладень, паливних та енергетичних ресурсів, джерелом яких є продукт термічної обробки кам'яного вугілля – кокс, вуглець якого у вигляді CO₂ надходить в атмосферу. Розглянуто численні запропоновані способи виробництва сталі без використання цього коксу. Одним із напрямків є виробництво губчастого заліза без плавлення, іншим напрямком безкоксової металургії є високотемпературні процеси одержання рідкого металу, що здійснюються в одну стадію. Визначено теоретично необхідну кількість відновлювача при відновленні заліза оксидом вуглецю та воднем. Розглянуто способи отримання відновлювального газу шляхом конверсії природного газу та газифікації кам'яного вугілля. Показано плани керівництва Групи Метінвест щодо розробки довгострокової технологічної стратегії металургійного виробництва з урахуванням екологічних вимог.

Ключові слова: зміна клімату, парниковий газ, вуглекислий газ, безкоксова металургія, декарбонізація, губчасте залізо.

V.P. Russkikh, Yu.V. Khavalits. On transition to hydrogen metallurgy. The article shows that climate change is not only warming, but also extraordinary natural phenomena (droughts, floods, storms, tornadoes etc), which lead to significant economic damage. Climate warming is caused by increasing concentrations of greenhouse gases in the earth's atmosphere. The main task is to reduce carbon dioxide emissions. An analysis has been carried out of international documents such as the Kyoto Protocol, the Paris Climate Agreement, aimed at reducing greenhouse gas emissions into the atmosphere. It is shown

¹ канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро, ORCID: 0000-0002-9711-2599, russkikh_v_p@ukr.net, дата смерті – 7.04.2023 р.

² науковий співробітник, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро, uliva1981havalic@gmail.com