

УДК 553.041
DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.104.08>

Марія КУРИЛО, д-р геол. наук, доц.
ORCID ID: 0000-0002-1411-2754
e-mail: kurilo@mail.univ.kiev.ua

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Софія КОШАРНА, канд. геол. наук
ORCID ID: 0000-0002-4523-1086
e-mail: sofiia.kosharna@ukr.net

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

СТРАТЕГІЧНЕ ЗНАЧЕННЯ РІДКІСНОЗЕМЕЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДЛЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВІТЧИЗНЯНИХ РОДОВИЩ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, доц. С.Є. Шнюковим)

В умовах сталого розвитку переорієнтування широкого кола технологічних галузей є неминучим явищем, яке зумовлює пертурбації усталеного переліку сировини, що має стратегічне значення. Зміни пріоритетів у першу чергу зумовлені потребою переходу до інноваційних підходів з метою вирішення старих проблем та забезпечення всіх потреб сучасного суспільства. І наразі, інтегруючись у численні глобальні економічні ланцюжки, саме рідкоземельні елементи відкривають цілий спектр нових можливостей.

У рамках дослідження проаналізовано й узагальнено інформацію щодо основних напрямків використання рідкоземельних елементів, кон'юнктури їх ринку, існуючої та прогностичної динаміки цін; проведено систематизацію стимулювальних та стримувальних факторів розвитку мінерально-сировинної бази рідкоземельних елементів за економічними, екологічними, геологічними, ресурсними та технологічними показниками; простежено зв'язок сучасної світової стратегії "зеленої енергетики" із темпами інтенсифікації робіт на об'єктах потенційного видобутку рідкоземельних елементів у світі та наведено аргументацію відносно першочергової необхідності концентрування зусиль на поповненні ринку елементів церієвої групи, куди входять неодим й празеодим.

За результатами проведеного дослідження зроблено висновок щодо головних факторів розвитку ринку рідкоземельних елементів, а також ідентифіковано найбільш перспективні для геологічних пошуків та реалізації видобутку ділянки на території України.

Ключові слова: рідкоземельні елементи, попит, зелена енергетика, розвіданість об'єктів, промислова цінність.

Вступ

Унікальна здатність рідкоземельних елементів (РЗЕ) інтегруватися у велику кількість глобальних економічних ланцюжків, стаючи невід'ємною частиною широкого кола технологічних галузей, виводить їх статус на рівень стратегічної сировини у будь-якій розвиненій країні.

Інноваційними підходами до розв'язання старих проблем з метою забезпечення всіх потреб сучасного суспільства був утворений широкомасштабний спектр можливого використання РЗЕ, який варіюється від щоденного (засоби для полірування скла, автомобільні генератори та ін.) до високотехнологічного спеціалізованого застосування (лазери, магніти, акумулятори, волоконно-оптичні телекомунікаційні кабелі та ін.). Окрім того, стратегічне значення РЗЕ зумовлюється можливістю їх використання у безпековій (військовій) сфері, запроваджуючи відповідні технології у процесах створення військової техніки (підводний човен американського класу Вірджинія, есмінець класу Arleigh Burke, літак-вишувач F-35).

Отже, рідкоземельні елементи були трансформовані в універсальний компонент технічної еволюції країн, що, у свою чергу, відіграє ключову роль у забезпеченні конкурентоздатності їх економік. Із цієї причини надійний доступ до якісних ресурсів відповідної сировини нині входить до пріоритетів кожної держави.

Аналітичний огляд основних напрямків використання РЗЕ. Перші два десятиріччя XXI ст. можна вважати суттєвою віхою в історії розвитку високотехнологічного сектору промисловості, і важливу роль у цьому відіграли саме рідкоземельні елементи, відкривши цілий спектр можливостей для реалізації найбільш сміливих проектів. Як закономірний результат – даний тип сировини було переведено в категорію стратегічно важливих (Critical Mineral) для більшості розвинених країн, та почало фіксуватися стрімке підвищення попиту на неї. Нині

ця світова тенденція залишається перспективною в майбутньому.

РЗЕ є невід'ємною частиною багатьох промислових, комерційних і побутових приладів, важливим елементом електрифікаційних процесів і транспортних засобів, що зайняли міцні позиції у нашому повсякденному житті. Вони містяться в кожному телефоні, машині, літаку, без них неможливе створення вітрових турбін та ряду військової техніки. Сучасними науковими дослідженнями була встановлена можливість за допомогою їх використання підвищувати корозійну стійкість легких сплавів, поліпшувати структури та механічні властивості чавунів, сталей, магнію та алюмінію. РЗЕ використовують у атомних батареях, що здатні виділяти енергію протягом кількох років, а сплави з таких елементів, як церій, плутоній і торій, використовуються як ядерне паливо. Окрім того, до переліку найпоширеніших напрямків використання даної сировини (рис. 1) входять виробництво акумуляторних батарей та оптична промисловість (Маланчук, 2016; Goodenough, Wall, & Merriman, 2017; Minerals Yearbook..., 2016; Roskill, 2016b).

Згідно з проведеною диференціацією рідкоземельних елементів щодо основних напрямків їх застосування (табл. 1), найширший їх спектр може використовуватися у процесах виготовлення лазерів різних типів, люмінофорів, магнітів, сплавів та каталізаторів для нафтової промисловості. Для решти сфер, з метою отримання якісного результату, можливим є використання більш обмеженого кола РЗЕ.

Постановка проблеми та її зв'язок з важливими практичними завданнями. Важливою особливістю рідкоземельної сировини є складність її заміни, оскільки, незважаючи на невеликий обсяг її можливого використання, вона здатна забезпечити продукту такі переваги, як продуктивність або довговічність (Smith Stegen, 2015). Даний аспект є свідченням безсумнівного економічного

© Курило Марія, Кошарна Софія, 2024

пріоритету широкомасштабного використання РЗЕ в сучасному світі та аргументованим доказом потреби розвитку їх мінерально-сировинної бази. Останнє значною мірою залежить не лише від ступеня промислового освоєння та наявності можливостей довивчення родовищ і

рудопроявів, але й від обізнаності з питань, що стосуються кон'юнктури самого ринку цієї сировини, динаміки та прогнозів її цін, шляхів реалізації тощо. Тобто всіх факторів, що можуть вплинути на прийняття остаточного інвестиційного рішення.

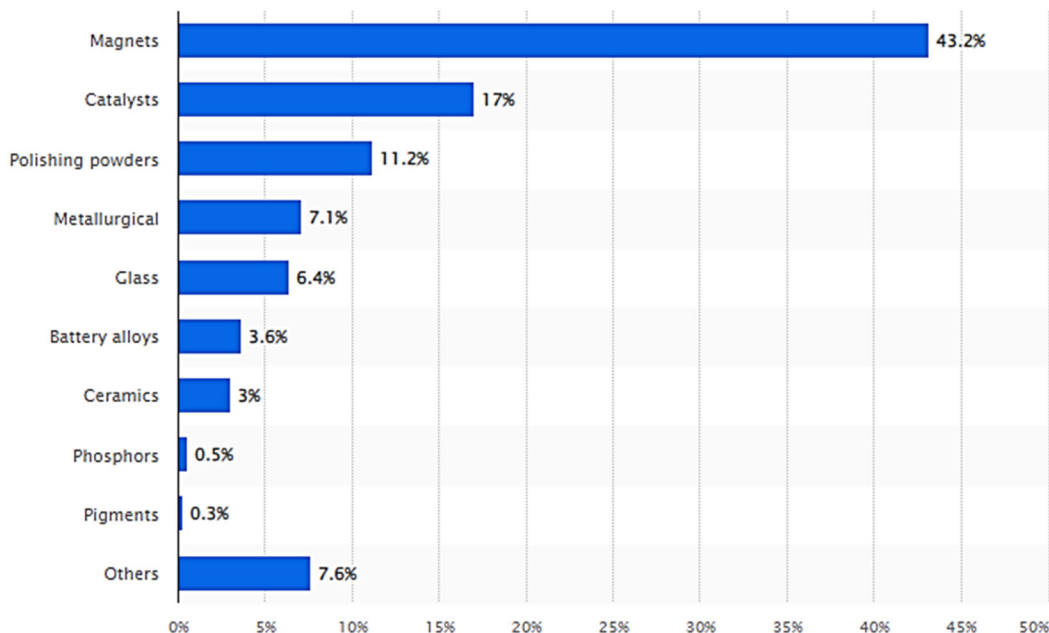


Рис. 1. Поточне використання РЗЕ у світі (Distribution of rare..., 2021)

Таблиця 1

Основні напрямки застосування РЗЕ

Напрямки застосування	РЗЕ
Лазери	Y, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb
Люмінофори (для мобільних телефонів, LEDs та інших пристроїв)	Sc, Y, Eu, Y, Tb, La, Dy, Ce, Pr, Lu
Виробництво магнітів	Nd, Pr, Sm, Td, Dy, Ho
Каталізатори в нафтовій промисловості	La, Ce, Nd, Pr, Lu
Виробництво сплавів	Sc, Yb, Er, Dy, Tb
LaNiH акумулятори	La, Ce, Nd, Pr
Прозорість скла	Ce, La, Nd, Er
Оптоволокно	Er, Y, Tb, Eu
Полірувальні матеріали для моніторів, планшетів, телевізорів, дзеркала (у вигляді наночастинок)	La, Ce, Nd
Автокаталізатори	La, Ce, Nd
Кераміка	Nd

Формулювання цілей статті. Наявні публікації результатів раніше проведених робіт та статистичних даних покладено в основу даного дослідження, яке стосується систематизації стимулювальних та стримувальних факторів розвитку мінерально-сировинної бази РЗЕ. Вся інформація, по якій існують відкриті опубліковані дані, систематизована за економічними, екологічними, геологічними, ресурсними та технологічними показниками. Окремим завданням було виділити на основі отриманих результатів перспективні комплексні об'єкти на території України, що можуть бути охарактеризовані як ті, що мають високу промислову цінність та вбачаються інвестиційно привабливими в умовах сучасних реалій.

Результати

У світовому виробництві РЗЕ уже досить тривалий час (з 1990-х років), провідні позиції займає Китай, виробляючи близько 95 % їх світових обсягів. Ключовим поясненням такого незмінного лідерства є можливість цієї країни з переробки значного відсотка рідкісних земель, що видобуваються й в інших частинах Азії, та тих невеликих кількостей, що надходять з Африки. Окрім того,

технічна розвиненість Китаю дає йому змогу брати у розробку та реалізацію проекти, пов'язані з переробкою важких рідкоземельних концентратів з нафтопереробних заводів, суттєво збільшуючи тим самим свою імпорتنу спроможність (у 2018 р. обсяги імпорту сягали 13 000 т).

Фактична монополія Китаю останніми роками викликає дедалі глибшу стурбованість у світового суспільства й після введення Китаєм експортних квот, що призвело до значного зростання цін на РЗЕ, у 2010 р. у всьому світі спостерігалось різке зростання інтересу до рідкісних земель, що супроводжувалось інтенсифікацією розвідки родовищ та активізацією пошуків можливих альтернатив, оскільки збільшення попиту на цей вид сировини (рис. 2) стрімко підвищується.

Підходи до вирішення даного питання різняться – Японія сконцентрувалася на пошуку заміників РЗЕ, Австралія – на стійкому розвитку гірничодобувної діяльності, а Канада – на пошуках та розвідці (Nicoletopoulos, 2014). Так чи інакше, дані роботи суттєво сприяють підвищенню рівня розвіданості надр (рис. 3) та окреслюють можливі перспективи.

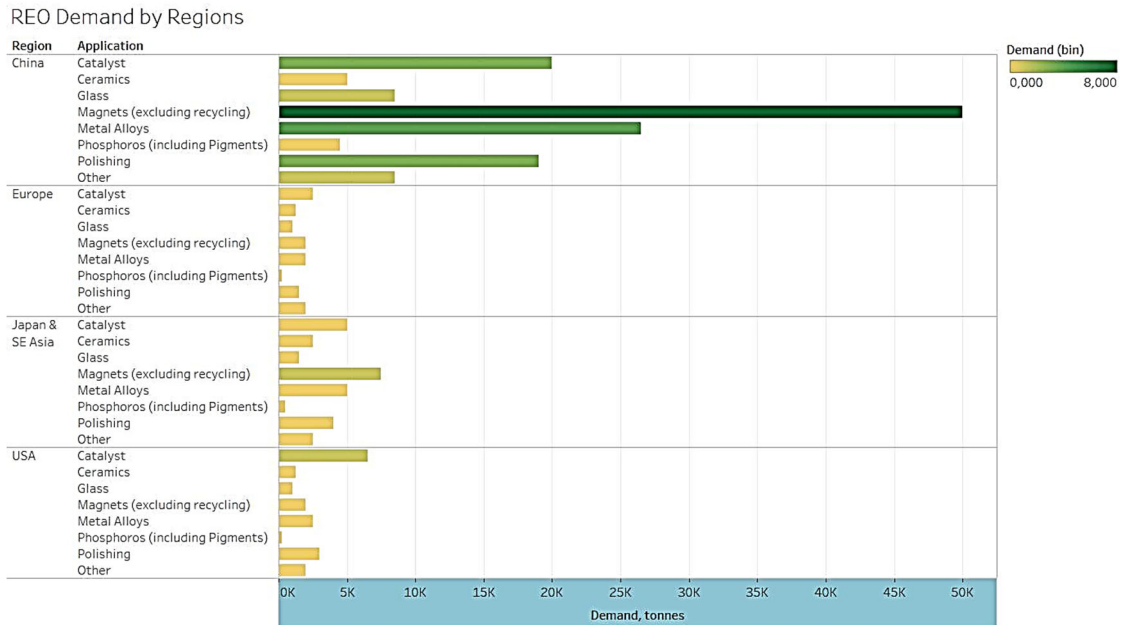


Рис. 2. Регіональна диференціація потреби в РЗЕ (USGS, н.д.)

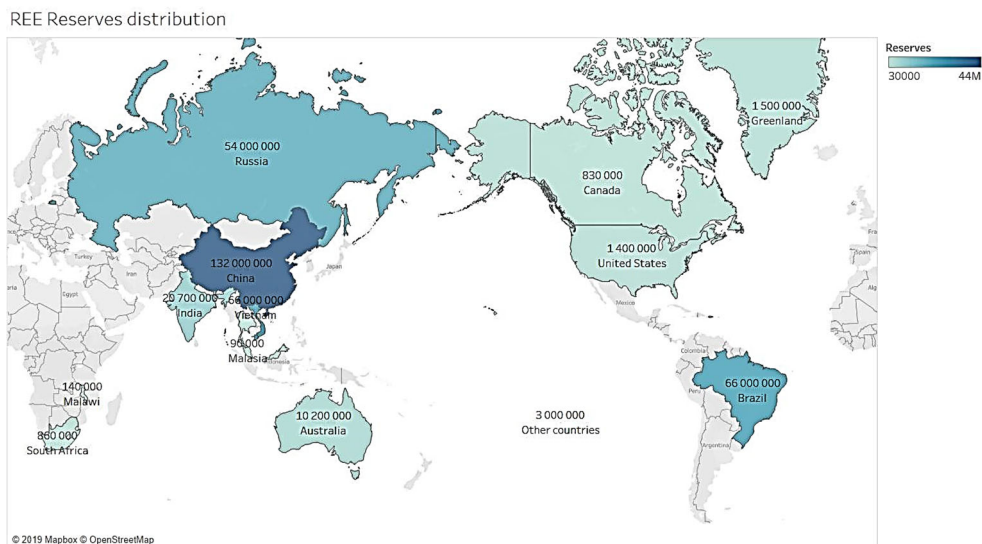


Рис. 3. Розподіл запасів РЗЕ (Візуалізація даних виконувалась за використання академічної ліцензії IBM Tableau у Київському національному університеті імені Тараса Шевченка, Україна)

Високий попит на рідкоземельні елементи, створений широким спектром можливостей їх використання, водночас супроводжується рядом перепон, подолання яких є наріжним питанням подальшого розвитку напрямку.

Одним із головних факторів, що часто унеможлиблює відкриття рідкоземельних виробництв у районах із високим технологічним рівнем інфраструктури є *жорсткі екологічні вимоги* в розвинених країнах, зокрема Європі. Їх небажання такого сусідства змушує переміщувати виробничі потужності до менш розвинених територій. Яскравим прикладом може слугувати розміщення найбільших заводів австралійської компанії "Lynas" у Малайзії, де екологічні обмеження є більш пластичними, і водночас є більше простору для виробничих маневрів (Dadwal, 2011). З огляду на ці обставини, перед компаніями постають питання провадження високоякісного менеджменту проєктів щодо рідкоземельних елементів, кожен з яких потребує не одного року роботи, сповільнюючи тим

самим можливими темпами зростання продуктивності досліджуваного аспекту галузі.

Іншим фактором, що має вплив на реалізацію нових проєктів і, відповідно, підвищення рівня конкуренції на ринку рідкоземельних елементів, що могли б знизити ризики поставок, є *високі затрати на освоєння нових родовищ*. Це зумовлено їх високою розрізненістю за складом і базовими мінералами, з яких вилучають РЗЕ. І дуже часто виникає потреба в індивідуальному підході / технології до відпрацювання об'єкта.

Вплив стратегії "зеленої енергетики" та її реалізації на ринок РЗЕ. На противагу зазначеним складнощам облаштування рідкоземельного виробництва у світі проводиться активна популяризація ідеї впровадження стратегії "зеленої енергетики", що ґрунтується на зменшенні кількості викидів (Low Emission Development Strategy, 2010) та використанні чистих енергетичних технологій, вагомий відсоток виробництва яких становить саме РЗЕ. Збільшення з кожним роком

попиту на цю сировину є неминуче з огляду на необхідність її застосування у вітроенергетиці, переробці нафти, забезпеченні населення високоєфективним освітленням, розробці транспортних засобів нового покоління – тобто всіх сферах, націлених на енергозбереження, розвиток низьковуглецевої економіки та зменшення викидів вуглецю в атмосферу (Стратегія..., н.д.).

Особливий інтерес протягом наступного десятиліття будуть становити такі елементи, як неодим, празеодим, диспрозій, лантан та церій. Попит на перші три елементи зумовлюється можливістю отримання дуже потужних і постійних (перманентних) неодимових магнітів, які виступають важливим компонентом конструювання гібридного транспорту, електромобілів і вітроенергетичних турбін.

Осучаснення підходів до вітроенергетики супроводжується впровадженням більших та потужніших турбін, до складу інженерної конструкції яких входять саме неодимові магніти, що здатні суттєво зменшувати розмір і вагу генератора. З тих же причин на ринку електромобілів (як звичайних, так і гібридних) почало відмічатися

домінування продукції з двигунами, сконструйованими за аналогічним принципом. Даний підхід вбачається перспективним, з огляду на можливість обмежувати згадані вище параметри відповідно до сучасних конструктивних рішень та конфігурацій транспорту (Critical Materials Strategy, 2011; Market information, н.д.).

Лантан та церій, у свою чергу, можуть бути використані в автокаталізаторах і як добавки флюїдного каталітичного крекінгу, трансформуючи важкі молекули в більш легкі сполуки та зменшуючи викиди, спричинені переробкою сирової нафти. А модернізація технологій якісного освітлення припускає доповнення виробничого процесу такими елементами, як ітрій, прометій, європій, тебрій та диспрозій.

З огляду на все вищезазначене, "зелена енергетика" слугує для сучасного світу рушійною силою, завдяки якій очікується інтенсифікація темпів розвитку технологій різної направленості, що можуть привести до подвоєння попиту на РЗЕ до 2025 р. (рис. 4).

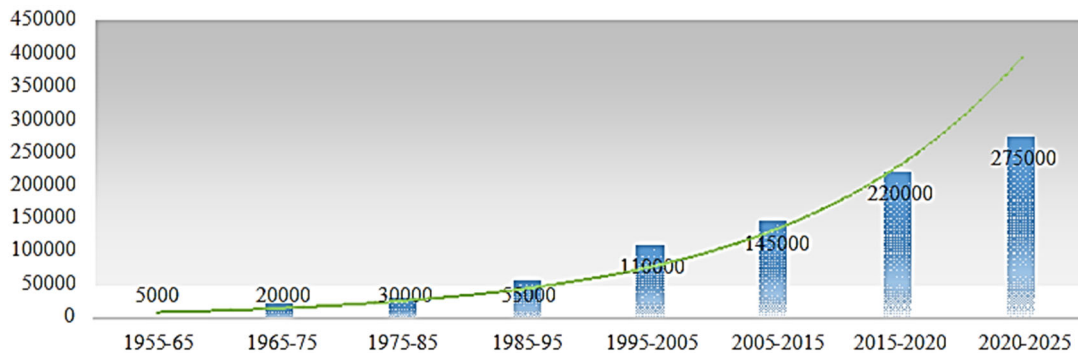


Рис. 4. Попит на РЗЕ (±15–25 %) тонн за прогнозами Rare Earth Industry Association

За оцінками Rare Earth Industry Association серед оксидів РЗЕ саме ринок елементів церієвої групи (куди входять неодим і празеодим) є сьогодні найбільш

ненасиченим (відсоток пропозиції на світовому ринку є невисоким) (рис. 5), незважаючи на його високу затребуваність (табл. 2).

Major REE Mine Producer - 2017

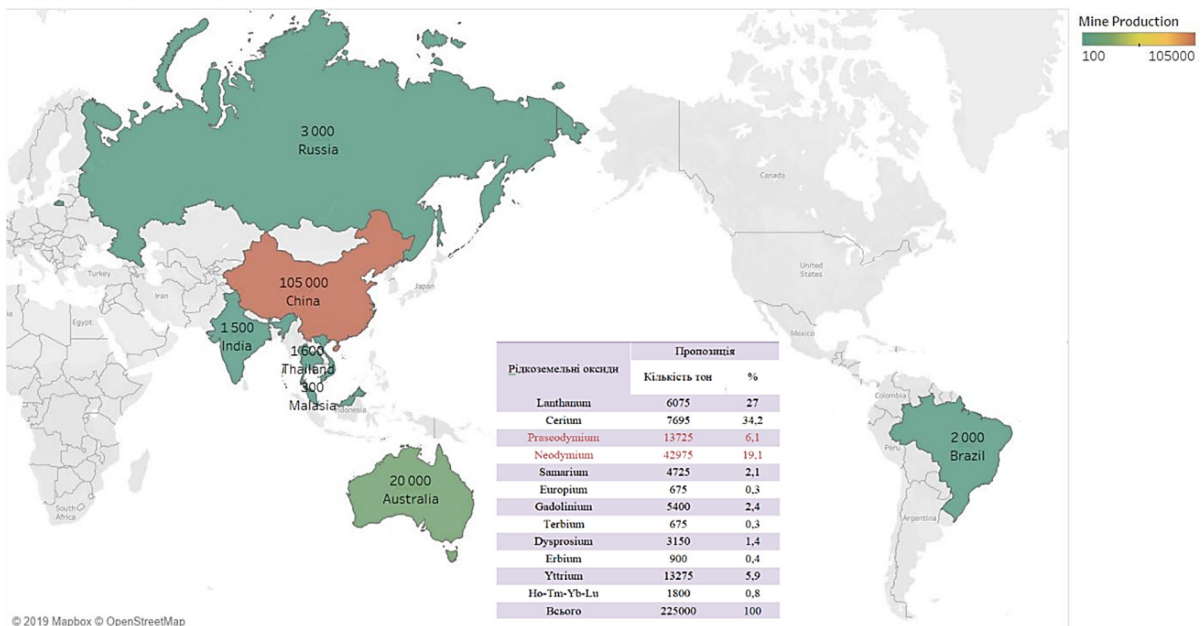


Рис. 5. Світова пропозиція для окремих рідкоземельних елементів в 2020 році (±25 %) (візуалізація даних виконувалась за використання академічної ліцензії IBM Tableau у Київському національному університеті імені Тараса Шевченка, Україна)

Таблиця 2
Світовий попит для окремих рідкоземельних елементів в 2020 році (± 25 %)

Рідкоземельні оксиди	Попит	
	Кількість тонн	%
Lanthanum	49425	24,50
Cerium	72175	35,80
Praseodymium	15175	7,50
Neodymium	46100	22,90
Samarium	1600	0,80
Europium	250	0,10
Gadolinium	3675	1,80
Terbium	400	0,20
Dysprosium	1850	0,90
Erbium	900	0,40
Yttrium	9675	4,80
Ho-Tm-Yb-Lu	275	0,1
Всього	201500	100

Згідно з аналітичними викладками Roksil за найближчі кілька років (до 2026 р.) є ймовірність деякої зміни попиту (рис. 6) на РЗЕ, як з погляду обсягу, так і питомого споживання окремих елементів, що буде зумовлено розробкою нових продуктів і черговим витком технологічного розвитку країн.

Відповідно до даного прогнозу, до головних факторів розвитку ринку РЗЕ можна віднести не лише економіко-політичні маніпулювання провідного виробника, але й розширення переліку сфер, що збільшуватимуть попит і, відповідно, й ціну. Так, за прогнозами Rare Earth Industry Association ціни на даний вид сировини, зокрема на оксид неодиму (рис. 8), у найближчі роки буде невпинно зростати.

Динаміку цін на оксиди РЗЕ, за даними китайських трейдерів (<https://giti.sg>), наведено в табл. 3.

У той же час, згідно зі **Statista Global Consumer Survey**, деякі коливання цін будуть фіксуватися відносно інших, дещо менш затребуваних оксидів РЗЕ (рис. 7, 8), що може спровокувати більш активні пошуки розширення кола саме їх використання.

Враховуючи вищезгадане зростання цін на РЗЕ та безсумнівний економічний пріоритет широкомасштабного використання цієї сировини в сучасному світі, суттєві перспективи для України можуть відкрити саме активні пошукові та розвідувальні роботи, зокрема в межах Українського щита, де зосереджений основний відсоток запасів руд (табл. 4), що містять РЗЕ.

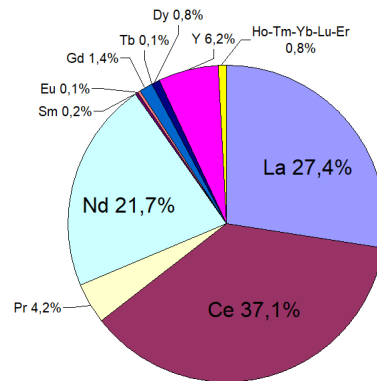


Рис. 6. Прогноз попиту для окремих рідкоземельних елементів у 2026 році

Таблиця 3
Динаміка цін на оксиди РЗЕ в 2021–2022 роках

	2021 \$/kg	2022 \$/kg	Δ \$/kg
Praesodymium oxide	80,04	129,8	49,76
Neodymium oxide	103,89	129,8	25,91
Erbium oxide	31,55	50,07	18,52
Gadolinium oxide	37,79	64,09	26,3
Yttrium oxide	6,54	11,05	4,51
Cerium oxide	1,42	1,15	-0,27
Lanthanum oxide	1,35	1,13	-0,22
Samarium oxide	2,08	3,19	1,11
Terbium oxide	1516,08	2054	537,92
Dysprosium oxide	460,21	348,6	-111,61
Europium oxide	30,01	28,48	-1,53
Holmium oxide	157,77	162,44	4,67

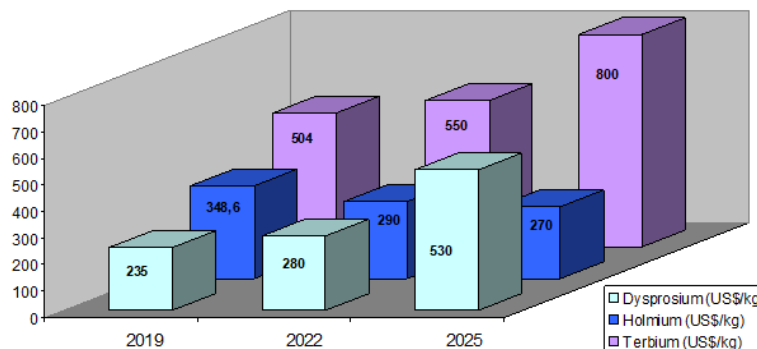


Рис. 7. Прогноз цін на РЗЕ (Dy, Ho, Tb) за прогнозами Statista Global Consumer Survey

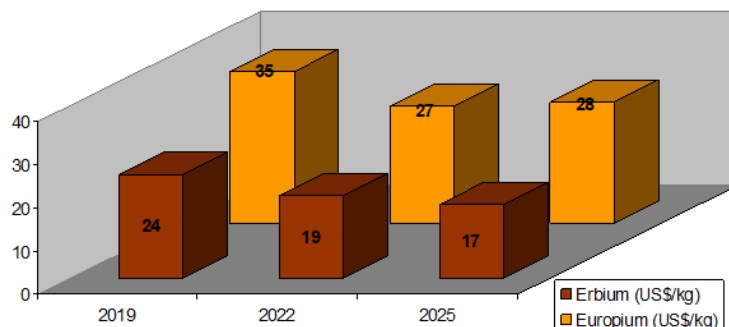


Рис. 8. Прогноз цін на РЗЕ (Er, Eu) за прогнозами Statista Global Consumer Survey

Таблиця 4

Розподіл запасів рідкісноземельних руд (Мінеральні ресурси України, 2021)

Назва області	Кількість родовищ	Запаси на 01.01.2021**	
		Всього	
	Всього	A+B+C ₁	C ₂
Всього в Україні	1+2*	860524,0 1939,74	741358,0 291,66
Донецька	1*	–	635222,0 0
Запорізька	1*	859627,0 1938,0	95858,0 274,0
Житомирська	1	897,0 1,74	10278,0 17,66

Примітки: *об'єкти обліку запасів, що входять до складу комплексних родовищ; ** $\frac{\text{руда, тис.т}}{\text{PЗЕ}(\text{TR}_2\text{O}_3), \text{ тис.т}}$

У Державному балансі запасів корисних копалин враховуються запаси рідкісних земель по таких родовищах, як *Новополтавське*, *Яструбецьке* (ділянка Південно-Західна). Проте, враховуючи усе зазначене вище, сучасний ступінь розвіданості, а також проведений раніше (Михайлов, Курило, & Кошарна, 2021) аналіз потенційної промислової цінності відомих об'єктів, нині є можливим виокремлення з-поміж інших ряду додаткових комплексних об'єктів, що вбачаються інвестиційно привабливими для інтенсифікації подальшого освоєння.

До зазначеного переліку найперспективніших увійшли:

- *Анадольське родовище* – представлено рудною зоною, що перетинає анадольські граніти і метаморфічні породи західноприазовської серії на південний схід від Жовтневого масиву. Рідкоземельні мінерали представлені ортитом, церитом, цербагнезитом, апатитом і флюоритом. Ортит утворює гнізда й лінзи (до 10–15 см) снопо- і віялоподібних агрегатів видовжених призматичних кристалів (0,5–1,5 мм), містить 23,7 % TR₂O₃. Церит утворює вкраплення дрібних ксеноморфних і ізометричних зерен (0,5–2 мм) серед агрегатів ортиту, включення у флюориті, містить 70,1 % TR₂O₃. Багнезит приурочений до міжзернових ділянок ортиту і заміщує останній. Вміст TR₂O₃ в багнезиті – 60 %. Апатит і флюорит (2,9 і 0,8–1,12 TR₂O₃ %, відповідно) утворюють у смужчатих рудах тонкі прошарки, які чергуються з прошарками ортиту, за хімічним складом належать до церієвих різновидів апатиту і флюориту. Запаси руди родовища значні, її промислові дослідження на Придніпровському хімзаводі дали позитивні результати;

- *група рудопроявів Балка Корабельна*, яка пов'язана з калієвим метасоматозом. Головні рудні мінерали представлені монацитом і ксенотимом, менше – апатитом і уранінітом. Основна маса рідкоземельних фосфатів у рудних тілах приурочена до ділянок біотитової породи, яка зазнала мікроклінізації. Група відзначається високими якісними параметрами, але потребує довищення і підрахунку запасів із технологічним і гірничотехнічним обґрунтуванням кондицій;

- *Азовське родовище*, що приурочене до серії сієнітових штоків, в якому запаси руд рідкісноземельних металів як супутнього компонента виявлені в корі вивітрянні, корінних апатитових та рідкіснометалічно-apatитових рудах. Вміст PЗЕ в рудах зазвичай становить перші відсотки, іноді сягаючи 20–30 %, а вміст Zr коливається від 0,02 до 27 %. Середній вміст TR₂O₃ – 1,27, ZrO₂ – 1,5 %;

- інтерес також становлять *розсипи приазовського району*, зокрема: Мало-Янисольська, Темрюцька та Василівська ділянки, що зумовлюється встановленими

суттєвими вмістами TREO, та Стародубівський, Діанівський, Жоголівський, Гурівський рудопрояви рідкісних земель, що були виділені ревізійними роботами щодо оцінки рідкісноземельних об'єктів у кінці минулого десятиліття й потребують повторного, досконалішого вивчення, оскільки ймовірність виявлення значних нерозкритих ресурсів велика. А з розвитком технологічних підходів до переробки руди додаткові родовища можуть посприяти значним економічним досягненням.

Дискусія і висновки

Наявність в Україні джерел унікальних корисних копалин є очевидним шансом країни сформувати потужний високотехнологічний сегмент на основі "природних" умов і передумов. Критична оцінка економічного, екологічного, геологічного і ресурсного аспектів є першоосновою для вироблення якісної стратегії та чіткої програми розвитку даного напрямку. Використовуючи знання, вміння і навички, накопичені у сфері створення високо-технологічної продукції, перед Україною відкривається можливість створення сукупності унікальних напрямків розвитку вітчизняної економіки на основі використання рідкоземельних елементів і металів, що в сучасних умовах є реальним шансом подолання економічної та післявоєнної кризи.

Внесок авторів: Марія Курило – концептуалізація, методологія, валідація даних, написання (перегляд і редагування); Софія Кошарна – формальний аналіз, написання (оригінальна чернетка).

Список використаних джерел

- Маланчук, З. Р. (2016). Сучасні напрямки використання та переробки техногенних родовищ фосфогіпсу. *Вісник НУВГП. Серія "Технічні науки"*, 2(74), 133–139.
- Михайлов, В. А., Курило, М. М., & Кошарна, С. К. (2021). Геолого-промислова оцінка та ранжування перспективних об'єктів вітчизняної бази рідкісноземельних елементів. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 93(2), 32–40.
- Мінеральні ресурси України (2021). Щорічник. Державне науково-виробниче підприємство "Державний інформаційний геологічний фонд України".
- Стратегія низьковуглецевого розвитку України до 2050 року. (н.д.). https://mepr.gov.ua/files/docs/Projekt/LEDS_ua_last.pdf
- Critical Materials Strategy (2011) U.S. Department of Energy. https://www.energy.gov/sites/prod/files/DOE_CMS2011_FINAL_Full.pdf
- Dadwal, S. (2011) The Sino-Japanese Rare Earths Row: Will China's Loss be India's Gain? *Strategic Analysis*, 35(2).
- Distribution of rare earth element consumption worldwide in 2021, by end use (2021). <https://www.statista.com/statistics/604190/distribution-of-rare-earth-element-consumption-worldwide-by-end-use/>
- Goodenough, K. M., Wall, F., & Merriman, D. (2017). The Rare Earth Elements: Demand, Global Resources, and Challenges for Resourcing Future Generations. *Natural Resources Research*. <https://doi.org/10.1007/s11053-017-9336-5>
- Low Emission Development Strategies (LEDS) (2010). International Energy Agency. <https://www.oecd.org/environment/cc/46553489.pdf>
- Market information. Rare Earth and Steel. (н.д.). https://giti.sg/markets/markets_files/Updated_RE_prices.html

Minerals Yearbook. Rare Earths. (2016). U.S. Department of the Interior. U.S. Geological Survey. (н.д.). <https://prd-wret.s3-us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/atoms/files/myb1-2016-raree.pdf>

Nicoletopoulos, V. (2014) European Policies on Critical Materials, Including REE. ERES2014:1st European Rare Earth Resources Conference. Milos. 04–09.09.2014. <http://www.eurare.eu/docs/eres2014/fourthSession/VasiliiNicoletopoulos.pdf>

Roskill. (2016b). Rare earths: Global industry, markets and out-look (16th ed.). Roskill.

Smith Stegen, K. (2015). Heavy rare earths, permanent magnets, and renewable energies: An imminent crisis. *Energy Policy*, 79, 1–8

United States Geological Survey (н.д.). <https://www.usgs.gov/>

References

Critical Materials Strategy (2011) U.S. Department of Energy. https://www.energy.gov/sites/prod/files/DOE_CMS2011_FINAL_Full.pdf

Dadwal, S. (2011) The Sino-Japanese Rare Earths Row: Will China's Loss be India's Gain? *Strategic Analysis*, 35(2).

Distribution of rare earth element consumption worldwide in 2021, by end use (2021). <https://www.statista.com/statistics/604190/distribution-of-rare-earth-element-consumption-worldwide-by-end-use/>

Goodenough, K. M., Wall, F., & Merriman, D. (2017). The Rare Earth Elements: Demand, Global Resources, and Challenges for Resourcing Future Generations. *Natural Resources Research*. <https://doi.org/10.1007/s11053-017-9336-5>

Low Emission Development Strategies (LEDS) (2010). International Energy Agency. <https://www.oecd.org/environment/cc/46553489.pdf>

Malanchuk, Z. (2016). Current trends of technogenic phosphogypsum fields use and recycling. *NUoWEE Bulletin. Technical sciences*, 74(2), 133–139 [in Ukrainian].

Market information. Rare Earth and Steel. (н.д.). https://giti.sg/markets/markets_files/Updated_RE_prices.html

Mineral resources of Ukraine (2021). Yearbook. State Research and Production Enterprise "State Information Geological Fund of Ukraine" [in Ukrainian].

Minerals Yearbook. Rare Earths. (2016). U.S. Department of the Interior. U.S. Geological Survey. (н.д.). <https://prd-wret.s3-us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/atoms/files/myb1-2016-raree.pdf>

Mykhailov, V., Kurilo, M., & Kosharna, S. (2021) Geological industrial assessment and ranking of promising objects of the domestic base of rare earth elements. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 93(2), 32–40 [in Ukrainian].

Nicoletopoulos, V. (2014) European Policies on Critical Materials, Including REE. ERES2014:1st European Rare Earth Resources Conference. Milos. 04–09.09.2014. [URL://http://www.eurare.eu/docs/eres2014/fourthSession/VasiliiNicoletopoulos.pdf](http://www.eurare.eu/docs/eres2014/fourthSession/VasiliiNicoletopoulos.pdf)

Roskill. (2016b). Rare earths: Global industry, markets and out-look (16th ed.). Roskill.

Smith Stegen, K. (2015). Heavy rare earths, permanent magnets, and renewable energies: An imminent crisis. *Energy Policy*, 79, 1–8

Ukraine 2050 Low Emission Development Strategy. (н.д.). https://mepr.gov.ua/files/docs/Proekt/LEDS_ua_last.pdf [in Ukrainian].

United States Geological Survey (н.д.). <https://www.usgs.gov/>

Отримано редакцією журналу / Received: 19.05.23

Прорецензовано / Revised: 30.06.23

Схвалено до друку / Accepted: 21.02.24

Mariia KURYLO, DSc (Geol.)

ORCID ID: 0000-0002-1411-2754

e-mail: kurilo@mail.univ.kiev.ua

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Sofiiia KOSHARNA, PhD (Geol.)

ORCID ID: 0000-0002-4523-1086

e-mail: sofiiia.kosharna@ukr.net

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

STRATEGIC IMPORTANCE OF RARE EARTH ELEMENTS FOR MODERN TECHNOLOGIES AND PROSPECTS OF DOMESTIC DEPOSITS

In the context of sustainable development, the reorientation of a wide range of technological industries is an inevitable phenomenon that predetermines the perturbations of the established list of raw materials of strategic importance. Changes in priorities are primarily derived from the transition need to innovative approaches in order to solve old problems and ensure all the needs of modern society. So far, integrating into numerous global economic chains, rare earth elements open up a whole range of new opportunities.

Within the study information on the main areas of REE use, its market conditions, existing and projected price dynamics were analyzed and summarized; a systematization of stimulating and restraining factors of REE mineral resource base development according to economic, ecological, geological, resource and technological indicators was also made; the connection of the modern "Green Energy Transition" global strategy with the work intensification rate at potential REE mining objects is traced, arguments regarding the primary need to concentrate efforts on replenishing the market for elements of the cerium group, which includes neodymium and praseodymium are given as well.

Based on the results of the study, a conclusion regarding the main factors in the development of the REE market was made, and the most promising areas for geological prospecting and mining implementation on the territory of Ukraine were identified.

Keywords: rare earth elements, demand, green energy, exploration level of objects, industrial value.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; in the decision to publish the results.