

**РІДКІСНОЗЕМЕЛЬНІ ЕЛЕМЕНТИ.  
РЕАЛІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ.  
(МІЖНАРОДНИЙ ОГЛЯД)**



УКРАЇНА



# СВІДОЦТВО

про реєстрацію авторського права на твір

№ 144388

Літературний твір «РІДКІСНОЗЕМЕЛЬНІ ЕЛЕМЕНТИ: РЕАЛІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ (МІЖНАРОДНИЙ ОГЛЯД)» («Рідкісноземельні елементи»)

(вид, назва твору)

Автор (співавтори) **Андріанов Олександр Анатолійович, Андріанов Юрій Олександрович**

(прізвище, ім'я, по батькові (за наявності), псевдонім (за наявності))

Авторські майнові права належать спільно **Андріанов Олександр Анатолійович, вул. Ол. Матросова, 23 а, гурт., м. Запоріжжя, 69057; Андріанов Юрій Олександрович, вул. Дніпровські Пороги, 25, кв. 21, м. Запоріжжя, 69096**

(прізвище, ім'я, по батькові (за наявності) фізичної особи / найменування юридичної особи, адреса)

Дата реєстрації 12 березня 2026 р.

Директор Державної організації  
«Український національний  
офіс інтелектуальної власності  
та інновацій»

Олена ОРЛЮК



## 1. Вихідні дані:

**РІДКІСНОЗЕМЕЛЬНІ ЕЛЕМЕНТИ. РЕАЛІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ.  
(МІЖНАРОДНИЙ ОГЛЯД)**// Розробники О. А. Андріанов, Ю. О. Андріанов,  
редактори П. В. Верхняцький, А. І. Ярмольський, К. В. Лісовий, А. А. Топчян.  
Київ, 2026. 128 с.

### **Застереження:**

➤ Особисті немайнові права інтелектуальної власності належать особам-розробникам. Майнові права інтелектуальної власності на твір належать ТОВ «НАУКОВИЙ ПАРК ФІНКОРД-ПОЛІТЕХ» та особам-розробникам і використовуються ними спільно;

➤ Будь-яка фізична чи юридична особа може використовувати даний твір (копіювання, цитування, посилання та інше) виключно з некомерційною метою і тільки за умови обов'язкового посилання:

- на «РІДКІСНОЗЕМЕЛЬНІ ЕЛЕМЕНТИ. РЕАЛІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ.  
(МІЖНАРОДНИЙ ОГЛЯД)»;

- на осіб-розробників;

- на ТОВ «НАУКОВИЙ ПАРК ФІНКОРД-ПОЛІТЕХ», 01021, Україна,  
місто Київ, вулиця Грушевського Михайла, будинок, 9б, офіс, Д6-3.

**E-mail:** [mail@fctm.com.ua](mailto:mail@fctm.com.ua)

© ТОВ «НАУКОВИЙ ПАРК ФІНКОРД-ПОЛІТЕХ», 2026 р.

© Андріанов О.А., Андріанов Ю.О., 2026 р.

© Верхняцький П. В., Ярмольський А. І., Лісовий К. В., Топчян А. А., 2026 р.

## 2. Авторський колектив

### Андріанов Олександр Анатолійович

#### Експерт Наукового парку «Фінкорд-Політех»

Поєднує академічний ступінь, практичну інженерну діяльність та роль інноваційного лідера, який сприяє розвитку міжнародної співпраці.



Кандидат технічних наук, співавтор понад 20 Патентів України на корисні моделі, автор наукових праць з технічних дисциплін, публікацій у спеціалізованих виданнях та програм виробничих випробувань сучасної техніки і технологій. Очолює дослідження та розробки у сфері технологічних інновацій та новітніх промислових рішень.

Вищу освіту отримав у Запорізькому машинобудівному інституті за фахами «Обладнання та технологія зварювального виробництва» і «Фінанси та кредит». У 2010 році захистив дисертацію на тему «Оптимізація процесу стабілізації процесу зварювання корозійностійких сталей змінним струмом» у Київському політехнічному інституті.

Тривалий час очолював низку комерційних та державних підприємств.

Член Правління та Радник Президента Українського національного комітету міжнародної торгової палати (ICC Ukraine) з розвитку індустрії критичних матеріалів та рідкісноземельних металів (CRM).

<https://orcid.org/0000-0003-4767-3205>, e-mail: [metallurgy@ukr.net](mailto:metallurgy@ukr.net)

### Андріанов Юрій Олександрович

Вибудував свій професійний шлях на перетині технічних наук і економіки, зосередившись на впровадженні інновацій у промисловість.



Кандидат економічних наук, співзасновник та Генеральний директор ТОВ «Науково-дослідний інститут «Перетворювач», який займається виробництвом електродвигунів, електронного обладнання, дослідженнями та розробками у сфері природничих і технічних наук. Співавтор праць науково-технічного характеру та низки публікацій у спеціалізованих технічних виданнях, розробник програм і методик випробувань для різних галузей виробництва.

Юрій Андріанов отримав дві вищі освіти: у Запорізькому національному технічному університеті за фахом «Міжнародні економічні відносини» та у Запорізькому національному університеті за фахом «Правознавство». У 2010 році захистив дисертацію на тему «Оцінювання і формування інвестиційного потенціалу машинобудівних підприємств» у Національному університеті «Львівська політехніка».

Виконавчий директор представництва ICC UKRAINE у Запорізькій області, e-mail: [nii-pre@ukr.net](mailto:nii-pre@ukr.net)

### 3. Редакційна колегія

#### Верхняцький Павло

##### Співзасновник Наукового парку «Фінкорд-Політех»



Міжнародний експерт із бізнес-розвідки, Павло керує транскордонними дослідженнями та здійснює оцінку геополітичних ризиків у контексті критичних мінералів, оборонної індустрії та інших стратегічних галузей. Маючи багатолітній досвід аналізу ризиків і стратегічного консультування, він забезпечує глибоке розуміння специфіки країни та особливостей ведення бізнесу, зосереджуючись на відносинах з урядом, боротьбі з корупцією, санкціях, та аспектах безпечного зростання.

#### Ярмольський Андрій

##### Співзасновник Наукового парку «Фінкорд-Політех»



Адвокат, політичний радник, висококваліфікований експерт у сферах права, національної безпеки, державного управління, санкційної політики, протидії економічним злочинам. Має значний досвід у корпоративному бізнесі, а також роботи на державних посадах, зокрема, прокурора, в.о. голови двох регіональних державних адміністрацій, керівні посади в Раді національної безпеки та оборони України. Під час роботи в РНБО координував реалізацію державної санкційної політики і питання контролю ланцюгів постачання критичних матеріалів.

#### Лісовий Костянтин

##### Співзасновник Наукового парку «Фінкорд-Політех»



Стратег і радник з питань міжнародної співпраці та національної безпеки, розвитку законодавства, реалізації державних програм, експортного контролю та оборонної промисловості. Маючи понад два десятиліття досвіду роботи у Службі зовнішньої розвідки України, зокрема, на посаді заступника Голови Служби, Костянтин керував впровадженням стратегічних досліджень з національної безпеки, долучався до розвитку нормативно-правової бази, брав участь у розробці міжурядових угод з питань безпеки та стратегічних програм розвитку оборонного сектору.

#### Топчян Ашот

##### Співзасновник Наукового парку «Фінкорд-Політех»



Випускник військових академій України та Великої Британії, Ашот брав участь у реформуванні української оборонної промисловості відповідно до стандартів НАТО та зробив свій внесок до законодавчих процесів з питань національної безпеки. Маючи досвід роботи в комерційних структурах, володіє глибокою експертизою у питаннях безпекових ризиків, розвитку міжнародного бізнесу, захисту національної безпеки та стратегічних комунікацій. Ашот є учасником російсько-української війни.

#### 4. Зміст

Номер	Назва	С.
1.	Вихідні дані	2
2.	Авторський колектив	3
3.	Редакційна колегія	4
4.	Зміст	5
5.	Анотація	8
6.	Вступ	9
7.	Застосування рідкісноземельних металів	12
7.1.	Використання РЗМ у воєнній техніці	12
7.1.1.	РЗМ у воєнній техніці ВПС США	12
7.1.2.	РЗМ у воєнній техніці Сухопутних військ Армії США	13
7.1.3.	РЗМ у воєнній техніці ВМС США	13
7.2.	Основні напрямки використання РЗМ у цивільному секторі	14
7.3.	Показники ринку РЗМ	15
7.4.	Світові запаси РЗМ	16
7.5.	Видобування РЗМ	17
7.5.1.	Основні показники та особливості видобування РЗМ	17
7.5.2.	Країни - видобувачі руд РЗМ	19
7.5.2.1.	Китай	19
7.5.2.2.	США	20
7.5.2.3.	М'янма	22
7.5.2.4.	Австралія	24
7.5.2.4.1.	Lynas Rare Earths Ltd	24
7.5.2.4.1.1.	Схема видобування та переробки РЗМ Lynas Rare Earths Ltd	24
7.5.2.4.1.2.	Завод Lynas Malaysia Sdn. Bhd.	25
7.5.2.4.1.3.	Завод LYNAS KALGOORLIE PTY LTD	25
7.5.2.4.1.4.	Пріоритет експорту РЗЕ Lynas Rare Earths Ltd до Японії	26
7.5.2.4.1.5.	Ризики у функціонуванні Lynas Rare Earths Ltd.	26
7.5.2.4.2.	Northern Minerals Ltd.	27
7.5.2.4.3.	Проект Eneabba	28
7.5.2.4.4.	Проект Nolans	28
7.5.2.4.5.	Проект Yangibana	29
7.5.2.5.	Таїланд	30
7.5.2.6.	В'єтнам	31
7.5.2.7.	Бразилія	35
7.5.2.7.1.	Загальна ситуація у Бразилії в сфері РЗМ	35
7.5.2.7.2.	Проект Serra Verde	36
7.5.2.7.3.	Проект Caldeira	37
7.5.2.7.4.	Проект Monte Alto	39
7.5.2.7.5.	Проект Araxá	41
7.5.2.7.6.	Проект Tiros	42
7.5.2.7.6.	Ініціатива MagBras	42
7.5.2.8.	Перспективи видобування РЗЕ у Скандинавії	43
7.5.2.8.1.	Перспективи видобування РЗЕ у Норвегії	43

Номер	Назва	С.
7.5.2.8.1.1.	Перспективи розвитку Комплексу Фен	43
7.5.2.8.1.2.	Перспективи вилучення РЗМ з фосфатної сировини	45
7.5.2.8.2.	Перспективи видобування РЗЕ у Швеції	47
7.5.2.8.2.1.	Проект Per Geijer компанії LKAB	48
7.5.2.8.2.2.	Проект Gyttoorp компанії Bastion Minerals Ltd.	50
7.5.2.8.2.3.	Проект Norra Kärr компанії Leading Edge Materials Corp.	51
7.5.2.9.	Перспективи видобування РЗЕ у Гренландії	53
7.5.2.9.1.	Загальне становище з родовищами РЗЕ у Гренландії	53
7.5.2.9.1.1.	Проект Tanbreez	56
7.5.2.9.1.1.1.	Переваги проекту Tanbreez	57
7.5.2.9.1.1.2.	Загальна проблематика гірничодобувних проєктів у Гренландії	58
7.5.2.9.1.1.2.1.	Корпоративні ризики реалізації проєкту «Tanbreez»	58
7.5.2.9.1.1.2.2.	Місцева проблематика гірничодобувних проєктів у Гренландії	60
7.5.2.10.	Перспективи видобування РЗМ в Африці	63
7.5.2.10.1.	Проблематика видобування РЗМ у країнах Африки	63
7.5.2.10.2.	Танзанія	65
7.5.2.10.2.1.	Проект Ngualla	65
7.5.2.10.3.	Кенія	66
7.5.2.10.3.1.	Проект Mrima Hill	66
7.5.2.10.4.	Намібія	67
7.5.2.10.4.1.	Проект Lofdal	67
7.5.2.10.5.	Перспективи видобування РЗЕ у Марокко	68
7.5.2.10.5.1.	РЗЕ в родовищах Марокко	69
7.5.2.10.5.2.	Вилучення РЗЕ в процесі виробництва фосфорної кислоти	71
7.5.2.10.5.3.	Геополітичні ризики видобування фосфатів та РЗЕ в Марокко	72
7.5.2.11.	Перспективи видобування РЗЕ в Україні	72
7.5.2.12.	Перспективи видобування РЗЕ в Росії	73
7.5.2.12.1.	Основні тези та показники	74
7.6.	Технології вилучення чистих РЗМ з рудної сировини	81
7.6.1.	Хлоридна технологія	81
7.6.2.	Кислотна технологія	83
7.7.	Виробництво рідкісноземельних постійних магнітів	88
7.8.	Перспективи нарощування виробництва РЗМ в країнах демократії	89
7.8.1.	Додаткові джерела отримання РЗЕ і готових виробів з них	90
7.8.1.1.	Загальні характеристики джерел вихідної фосфатної сировини	90
7.8.1.1.1.	Світові запаси та виробництво фосфатної руди та добрив	91
7.8.1.1.2.	Перспективність вилучення РЗЕ з фосфогіпсу	92
7.8.1.1.2.1.	Сучасний стан та тенденції світового накопичення фосфогіпсу	92
7.8.1.1.2.2.	Вилучення РЗЕ з фосфогіпсу	94
7.8.1.1.2.3.	Приклади робіт по вилученню РЗЕ з фосфогіпсу	95
7.8.1.1.2.3.1.	Туніс	95
7.8.1.1.2.3.2.	Польща	96
7.8.1.1.2.3.3.	США, Флорида	97
7.8.1.1.2.4.	Промислове впровадження технології вилучення РЗЕ з фосфогіпсу	98
7.8.1.1.2.4.1.	Впровадження технології компанією Rainbow Rare Earths	98

<b>Номер</b>	<b>Назва</b>	<b>С.</b>
7.8.1.1.2.4.1.1.	Характеристика компанії Rainbow Rare Earths Limited	98
7.8.1.1.2.4.1.2.	Захищеність інтелектуальної власності Rainbow та її монетизація	100
7.8.1.1.2.4.1.3.	Проекти Rainbow Rare Earths Limited	100
7.8.1.1.2.4.1.4.	Проект Phalaborwa	102
7.8.1.1.2.4.1.5.	Завод Foskor	102
7.8.1.1.2.4.1.4.	Технологія вилучення РЗЕ з фосфогіпсу на родовищі Phalaborwa	103
7.8.2.	Рециклінг постійних рідкісноземельних магнітів	106
7.8.2.1.	Технології переробки рідкісноземельних магнітів	107
7.6.8.2.1.1.	Традиційні методи переробки РЗМАГ	107
7.8.2.1.2.	Нові технології рециклінгу магнітів	110
7.8.2.1.3.	Приклади практичного застосування процесу переробки використаних рідкісноземельних магнітів	113
8.	Висновки	117
9.	Перелік використаних джерел інформації	120

## 5. Анотація

Сформована на протязі останніх років критична залежність країн демократії від Китаю у видобуванні та виробництві РЗМ в умовах «зеленого переходу» та міжнародної гонки озброєнь набула геополітичного характеру.

Публічне загострення протистояння останнього року між Китаєм та країнами демократії в цій сфері потребує від останніх екстраординарних дій та мобілізації всіх резервів в напрямках залучення державного цільового фінансування нових проєктів, відкриття та розробки нових перспективних родовищ, а також швидкого запуску проєктів переробки відходів виробництва і рециклінгу РЗМ-містких матеріалів, які утворюються в процесі обробки та експлуатації

Практична реалізація вказаних напрямків в кризових умовах ускладнюється **екзистенціальною перевагою** авторитарних, мобілізаційних методів управління та жорсткого державного регулювання (Китай, Росія) перед класичними ринковими методами планування та управління демократичного світу.

Поглибленню переваги авторитарних країн перед країнами демократії також сприяє їхній традиційний «полегшений підхід» до проблем екології, здоров'я населення і до врахування громадської думки.

Реалізовані останнім часом активні дії країн демократії та заплановані ними заходи в напрямку розвитку всіх ланок індустрії РЗМ свідчать про усвідомлення ними всієї глибини стратегічної загрози критичної залежності та технологічного відставанням від Китаю, що надає певний шанс на виправлення та стабілізацію ситуації.

Роботу присвячено розгляду широких аспектів сучасного стану та перспектив розвитку міжнародного виробництва і переробки рідкісноземельних металів, аналізу найбільш поширених технологій та розстановки сил, виявленню існуючих взаємозалежностей та схем, оцінці перспектив розвитку окремих суб'єктів галузі.

Для полегшення сприйняття викладеного матеріалу, його ілюстровано **65** Малюнками та **21** Таблицею.

Матеріал базується на аналізі великого масиву галузевої літератури та на обробці інформації з сучасних міжнародних баз даних. Перелік джерел первинної інформації складає **151** одиницю.

Матеріал призначено для представників органів державного управління, співробітників дипломатичних установ та аналітичних та бізнесових структур.

## 6. Вступ

Згідно із класифікацією Міжнародного союзу теоретичної та прикладної хімії (IUPAC), рідкісноземельні метали (РЗМ) являють собою групу з 17 елементів. Це 15 лантаноїдів, що мають порядкові номери від 57 до 71 (лантан, церій, празеодим, неодим, прометій, самарій, європій, гадоліній, тербій, диспрозій, гольмій, ербій, тулій, ітербій, лютецій), скандій та ітрій (порядкові номери відповідно 21 та 39), які мають велику схожість хімічних і деяких фізичних властивостей. Зазвичай РЗМ поділяють на дві групи в залежності від їхньої атомної ваги: легкі та важкі. Але, з урахуванням конфігурації електронів у атомах, РЗМ часто поділяють на церієву та ітрієву групи (Табл.1) [1, 2].

КЛАСИФІКАЦІЯ РІДКІСНОЗЕМЕЛЬНИХ МЕТАЛІВ ПО ГРУПАХ																
La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	Sc
Лантаноїди															Ітрій	Скандій
Лантан	Церій	Празеодим	Неодим	Прометій	Самарій	Європій	Гадоліній	Тербій	Диспрозій	Гольмій	Ербій	Тулій	Ітербій	Лютецій		
57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	39	21
Розподіл РЗМ на групи																
Церієва група				Ітрієва група												
Легкі							Важкі									

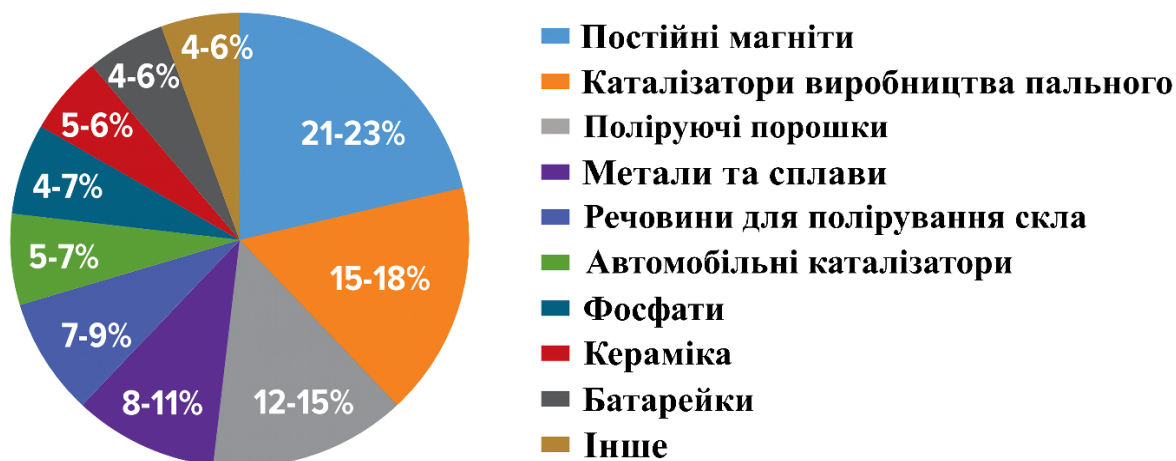
*Табл.1 Класифікація рідкісноземельних металів по групах.  
Авторська Таблиця за матеріалами досліджень.*

Важливою особливістю РЗМ є те, що в земній корі вони не є рідкісними, вони більш поширені, ніж, наприклад, золото, уран, свинець, олово, молібден, вольфрам і т.д. Однак родовища з промисловими концентраціями рідкісноземельних руд менш поширені, ніж у більшості інших корисних копалин. Експерти вважають, що доступні запаси РЗМ перевищують їхнє поточне світове виробництво на три порядки [3].

РЗМ та їхні оксиди використовуються у виробництві високотехнологічних товарів, наприклад - постійних неодимових або самарієвих магнітів, спеціальних легованих сталей, різних каталізаторів, елементів сучасної електронної техніки, поліритів, люмінофорів та іншої продукції. Здатність держав та компаній до виробництва РЗМ на основі рідкісноземельних мінерально-сировинних ресурсів та кінцевих високотехнологічних виробів з них є **своєрідним маркером** рівня технологічного укладу та розвитку промисловості країни в одному ряду зі здатністю виготовляти титанові сплави, літаки, ракети, атомні реактори та авіаційні двигуни.

На Мал. 1 наведено основні сфери застосування РЗМ.

## СФЕРИ ЗАСТОСУВАННЯ РІДКІСНОЗЕМЕЛЬНИХ МЕТАЛІВ



Мал.1 Діаграма розподілу сфер застосування РЗМ.  
Авторський Малюнок за матеріалами досліджень

В Табл. 2 та на Мал. 2 наведено сфери застосування РЗМ за версією агенції Argus станом на 2023 р.

СФЕРИ ЗАСТОСУВАННЯ РІДКІСНОЗЕМЕЛЬНИХ МЕТАЛІВ ЗГІДНО ДАНИХ АГЕНТСТВА ARGUS							
СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ	ПОСТІЙНІ МАГНІТИ (Nd, Tb, Dy, Gd, Pr, Sm)	ПОЛІРУВАЛЬНІ ПОРОШКИ ТА СКЛО (Ce, La)	КАТАЛІЗАТОРИ ДЛЯ НАФТОХІМІЇ ТА АВТОМОБІЛІВ (Ce, La, Pr, Nd)	НІКЕЛЬ-МЕТАЛОГІДРИДНІ АКУМУЛЯТОРИ (La, Ce, Nd, Pr, Sm)	МІШМЕТАЛИ ТА СПЕЦСПЛАВИ (Ce, La, Nd, Pr, Y)	КЕРАМІКА (La, Ce, Nd, Y)	ІНШЕ (ПОМОІНОФОРИ - Y, Yt, Tb, Gd, Eu, Ce, La, Ho), (АТОМНА ПРОМИСЛОВІСТЬ - Gd, La)
ЧАСТКА, %	26	25	17	11	6	6	9

Табл.2 Сфери застосування РЗМ за даними Агенції Argus у 2023 р.



Мал.2 Діаграма розподілу сфер застосування РЗМ за даними Агенції Argus у 2023 р.

За даними Агенції Argus, очікується, що до 2033 р. частка постійних магнітів у структурі споживання РЗМ зросте з поточних 26% до 42%.

Історія рідкісноземельних магнітів почалася наприкінці 1960-х років, коли в США, в лабораторії Air Force Materials Laboratory, вперше було виявлено особливі магнітні властивості самарій-кобальтових інтерметалевих сплавів ( $\text{SmCo}_5$  і  $\text{Sm}_2\text{Co}_7$ ), промислове виробництво яких було започатковано Альбертом Гейлом та Діліпом К. Дасом з Raytheon Corporation у 1970 р.

За рахунок впровадження потужних та високостабільних постійних магнітів з високими характеристиками і малими габаритами комерційне виробництво постійних магнітів Sm-Co викликало революційні перетворення у багатьох галузях промисловості.

Такі магніти були затребувані для електромоторів будь-яких розмірів, насамперед - у гібридних двигунах, вітряних турбінах і звичайних силових установках. Їхнє застосування дозволило зробити різні пристрої більш мініатюрними та потужними.

З часом, велике споживання та висока вартість самарію, а також зростання світових цін на кобальт стимулювали наукові дослідження щодо розробки нових магнітних матеріалів. У відповідь на проблеми із постачанням кобальту компанії Hitachi і General Motors розробили магнітну композицію неодим-залізо-бор (Nd-Fe-B), у т.ч. - магнітний сплав  $Nd_2FeB$  із відносно невеликим вмістом РЗМ. Магніти на його основі були розроблені у 1983 р. та швидко доведені до промислового виробництва. Загальний вміст РЗЕ в Nd-Fe-B магніту становить близько 32%, при цьому переважна частина припадає на Nd, решта компонентів – на Pr, Dy, Tb.

Експеримент показав, що магніти на основі  $Nd_2Fe_{14}B$  мають вдвічі більшу магнітну силу, ніж самарій-кобальтові продукти, а також більш високу стійкість до розмагнічування. Це відкрило широку перспективу їхнього застосування в електромоторах, що використовують постійні магніти. Також, однією з найважливіших переваг Nd-Fe-B магнітів є їхня відносно низька ціна в порівнянні з іншими типами магнітних матеріалів. В результаті магніти на основі  $Nd_2Fe_{14}B$  поступово замінили  $SmCo_5$  у багатьох пристроях і зараз, в звичайних експлуатаційних умовах, не мають альтернативи.

Але, попри те, що за показником магнітної сили самарій-кобальтові магніти на 10÷30% поступаються неодимовим магнітам, вони мають **низьку суттєвих переваг**, зокрема – високу робочу температуру у **300÷350°C** (при 80÷150°C у неодимових магнітах), значну стійкість до розмагнічування і механічну міцність, а також підвищену корозійну стійкість (не потребують захисного покриття).

Це робить Sm-Co магніти незамінними при використанні в випадках, коли є потреба в міцності, потужності, термостійкості, а також у мінімальній вазі кінцевих виробів – космічних апаратів, комп'ютерної техніки, мініатюрних електродвигунів та магнітних муфт, мобільних приладів зв'язку, а також у авіаційній та ракетній техніці та в різних видах сучасних озброєнь.

## **7. Використання РЗМ**

### **7.1. Використання РЗМ у воєнній техніці**

Достатньо показовим з точки зору демонстрації застосування РЗМ у воєнній техніці є аналіз їхнього використання різними родами військ американської армії.

#### **7.1.1. РЗМ у воєнній техніці ВПС США**

Постачальник приводів стабілізаторів з використанням РЗМ – компанія «Moog Components Group» комплектує цілий ряд позицій, які закуповуються Військово-Повітряними Силами США, зокрема:

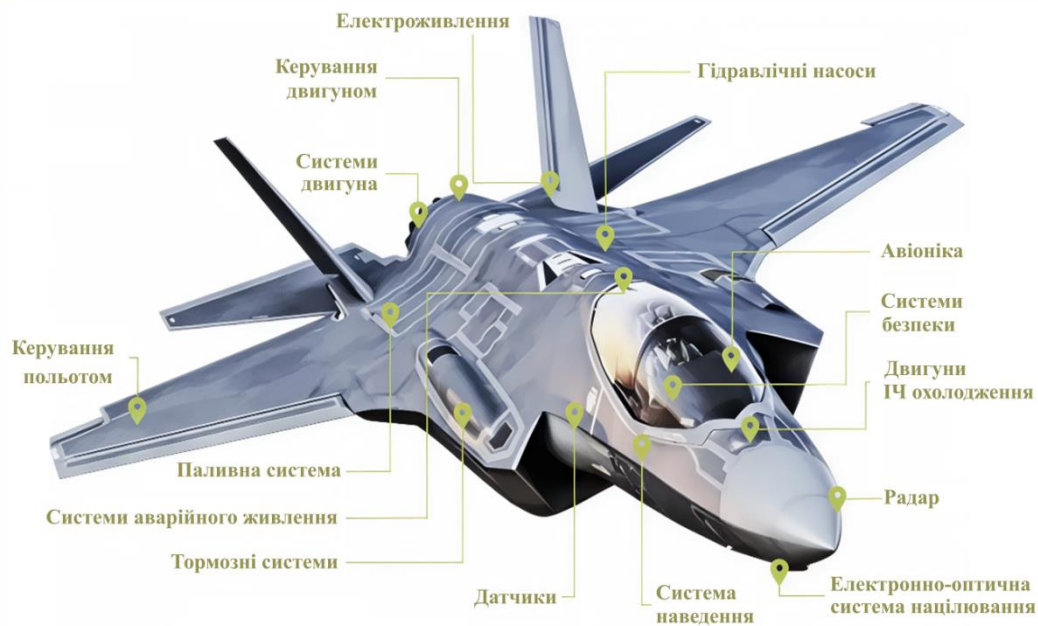
- пастки радіолокації (Miniature AirLaunched Decoy), вироблені корпорацією «Raytheon»;
- єдині ракети класу «повітря-земля» (Joint Air-to-Ground Missile), які виробляють корпорації «Raytheon» і «Boeing»;
- позаатмосферні перехоплювачі супутників (Exoatmospheric Kill Vehicle), вироблені корпорацією «Raytheon»;
- системи наземного базування для перехоплення балістичних ракет на середній ділянці траєкторії (GMD Missiles), що виробляються корпорацією «Boeing».

У системі супутникового зв'язку Milstar та наступних її модифікаціях, що поставляються компанією «Lockheed Martin», використовуються радіочастотні, мікрохвильові та антенні підсистеми з HPV Milstar-2 виробництва корпорації «Boeing».

Комплект обладнання на основі технології GPS, що перетворює вільнопадаючі бомби у всепогодні коректовані («розумні», англ. «smart») боєприпаси Joint Direct Attack Munition (JDAM), що виробляється компанією «Boeing», включає розташовані в задній частині бомби рідкісноземельні приводи, які поставляються компанією «HR Textron», а також електродвигуни компанії «EL Montevideo Technology, Inc.» [4].

На Мал.3 наведено приклади використання потужних магнітних компонентів в приладах багатоцільового винищувача п'ятого покоління F-22 «Raptor» виробництва компанії «Lockheed Martin» (США) [8].

## ЗАСТОСУВАННЯ МАГНІТИХ КОМПОНЕНТІВ В СУЧАСНОМУ ЛІТАКУ



Мал.3 Схема застосування рідкісноземельних магнітів в багатоцільовому винищувачі п'ятого покоління F-22 «Raptor» [8]

### 7.1.2. РЗМ у воєнній техніці Сухопутних військ Армії США

Вони закуповують наступні види продукції військового призначення, що містять РЗМ:

- протитанкову ракету Javelin Missile виробництва корпорацій «Lockheed Martin» та «Raytheon», яка має рідкісноземельні приводи стабілізаторів, що поставляються компанією «Parker Hannifin GmbH»;

- Високоточний керований снаряд Excalibur Artillery Shell виробництва корпорації «Raytheon» має рідкісноземельні приводи стабілізаторів схеми «качка», що поставляються компанією «General Dynamics Ordnance and Tactical Systems» (Versatron) [5];

- Американський бойовий танк M1A1 Abrams Tank, який поставляється підрозділом наземних систем компанії «General Dynamics», включає наступне обладнання з використанням РЗМ:

- двигуни виробництва компанії «Honeywell»;

- сенсорну систему LRS-2000 Rate Sensor виробництва компанії «Northrop Grumman»;

- комплект підвищення вогневої потужності танку Firepower Enhancement Program виробництва компанії «Raytheon» [6].

### 7.1.3 РЗМ у воєнній техніці ВМС США

ВМС США закуповують наступні найменування продукції військового призначення, що містять РЗМ:

- Корабельний зенітний артилерійський комплекс Phalanx CIWS виробництва компанії «Raytheon», що включає двигуни на постійних рідкісноземельних магнітах для підйому знарядь, вироблених компанією «KOLLMORGEN CORPORATION»;

- Ескадрені міноносці з ракетним озброєнням Zumwalt Destroyer виробництва компанії «Northrop Grumman», які використовують мотори на постійних рідкісноземельних магнітах, що поставляються компанією «DRS Technologies, Inc.» [4].

- Американська корабельна пускова установка Nulka MK 53 Decoy виробництва корпорації «BAE Systems Australia», яка включає такі елементи з використанням РЗМ:

- систему РЕБ (Electronic Warfare Payload), яку виробляє компанія «Lockheed Martin»;

- твердопаливний ракетний двигун, що постачається компанією «Aerojet».

Американські багатоцільові атомні підводні човни класу "Вірджинія" (Virginia-class Submarine), що виробляються «General Dynamics Electric Boat» та «Northrop Grumman Newport News», мають наступне обладнання з використанням РЗМ:

- силова установка, що постачається корпорацією «General Electric»;

- сенсорні та комунікаційні системи A-RCI, AN/BPS-16, Sub HDR, ТВ-29, ТВ-34, що поставляються компаніями «Lockheed Martin» та «Raytheon» [7].

**Вочевидь, елементна база більш сучасної зброї, що надходить зараз та надходитиме пізніше на озброєння армії США та інших країн, міститиме значно більшу кількість РЗМ, що впливатиме на загальне збільшення світової потреби у них.**

## **7.2. Основні напрямки використання РЗМ у цивільному секторі**

У цивільному секторі найбільш динамічно розвивається попит на РЗМ з боку виробників постійних магнітів, затребуваних в автомобілебудуванні та у відновлювальній енергетиці. За оцінками агенції Adamas Intelligence, у 2023 р. світове споживання постійних магнітів зросло на 13,3%.

Агенція очікує, що, у період до 2040 р., середньорічне зростання світового попиту на неодимові магніти становитиме 8,7%. Цьому сприятимуть двозначні темпи зростання в секторах робототехніки, передової авіаційності та електротранспорту, що призведе до порівняльного збільшення попиту на критично важливі «магнітні» РЗМ — дідим (суміш неодиму та празеодиму), диспрозій та тербій.

Водночас, за прогнозом Adamas Intelligence, світове виробництво цих металів в середньому зростатиме на 5,1% на рік, що загострить їхній дефіцит.

За даними Міжнародного агентства з відновлюваних джерел енергії (IRENA), у 2022 р. в структурі світового споживання РЗМ на рідкісноземельні магніти припадало 29%. Найбільші частки споживання таких магнітів – у сегментах побутової електроніки, електротранспорту і вітроенергетики.

За оцінкою компанії Pluka Resources Ltd. споживання «магнітних» РЗМ у 2023 р. становило 64,1 тис. т, а до 2033 р., за позитивного сценарію розвитку, повинно було досягти 173–176 тис. т, з яких 171 тис. т припаде на неодим і празеодим (середньорічні темпи зростання — близько 10%).

**Одним з найбільш впливових, з точки зору споживання РЗМ, є сектор вітроенергетики.**

У світовій вітроенергетиці в середині 2010-х років з часткою близько 70% переважала **редукторна** технологія вітрогенераторів, в ній постійні рідкісноземельні магніти не потрібні.

В той же час, на **безредукторну технологію прямого приводу**, де використання рідкісноземельних магнітів становить 0,7–1,3 т на мегават встановленої потужності, припадало трохи **більше 20%**.

Останнім часом активно розвивається гібридна технологія, де споживання рідкісноземельних магнітів не перевищує 0,1 т на мегават. Застосовуючи обидва «традиційних» сегменти вона зараз швидко нарощує свою частку на ринку.

На кінець 2023 р. у вітроенергетиці частка редукторної технології становила 59%, технології прямого приводу –19%, гібридної – близько 22%. Як вважають провідні експерти, у найближчі роки ця тенденція зберігатиметься.

**Динаміка попиту в сегменті рідкісноземельних магнітів залежатиме від поєднання двох факторів: нарощування обсягів випуску виробів, в яких використовуються рідкісноземельні магніти та прагнення знизити обсяги їхнього використання без втрати властивостей.**

На це націлено багато сучасних наукових досліджень і саме це може стати альтернативним важелем у світовій гонці за РЗМ, який може мати вагомий та швидкий ефект.

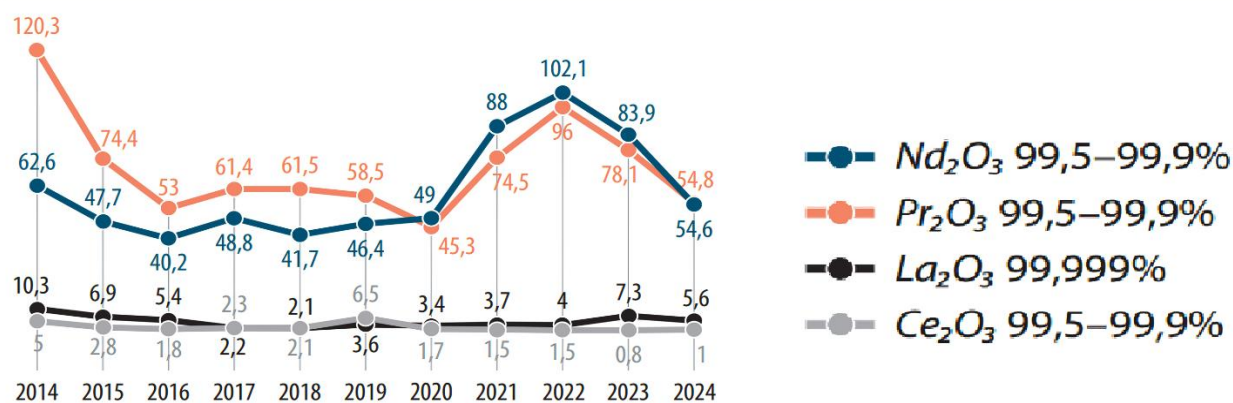
### **7.3. Показники ринку РЗМ**

За оцінками консалтингової компанії Mordor Intelligence, ринок РЗМ у 2023 р. становив 175 тис. т. Очікується, що у 2024 р. він збільшиться до 182,4 тис. т, а у 2029 р. досягне 214,9 тис. т (середньорічні темпи зростання — 4,19%). При цьому центр зростання залишиться в Азійсько-Тихоокеанському регіоні (АТР).

У вартісному вираженні, на думку експертів, динаміка обсягів ринку РЗМ виглядає наступним чином: 2024 р. – 11,7 млрд. \$, 2025 р. – 12,5 млрд. \$ (+6,5%), прогноз на 2030 р. – 33,5 млрд. \$ (в 2,7 рази більше, ніж у 2025 р.).

На Мал.4,5 наведено динаміку цін на РЗМ легкої та середньо-важкої груп (FOB Китай) у 2014-2024 р.р за оцінкою Asian Metal Inc. та VAINFO.COM Inc.

**ДИНАМІКА ЦІН НА РЗМ ЛЕГКОЇ ГРУПИ (FOB КИТАЙ) У 2014-2024 Р.Р., ДОЛЛ/КГ**



Мал.4 Діаграма динаміки цін на РЗМ легкої групи (FOB Китай) у 2014-2024 р.р. за даними Asian Metal Inc. та BAINFO.COM Inc.

**ДИНАМІКА ЦІН РЗМ СЕРЕДНЬО-ВАЖКОЇ ГРУПИ (FOB - КИТАЙ) У 2014 - 2024 Р.Р., ДОЛЛ. /КГ**



Мал.5 Діаграма динаміки цін на РЗМ середньо-важкої групи (FOB Китай) у 2014-2024 р.р. за даними Asian Metal Inc. та BAINFO.COM Inc.

**7.4. Світові запаси РЗМ**

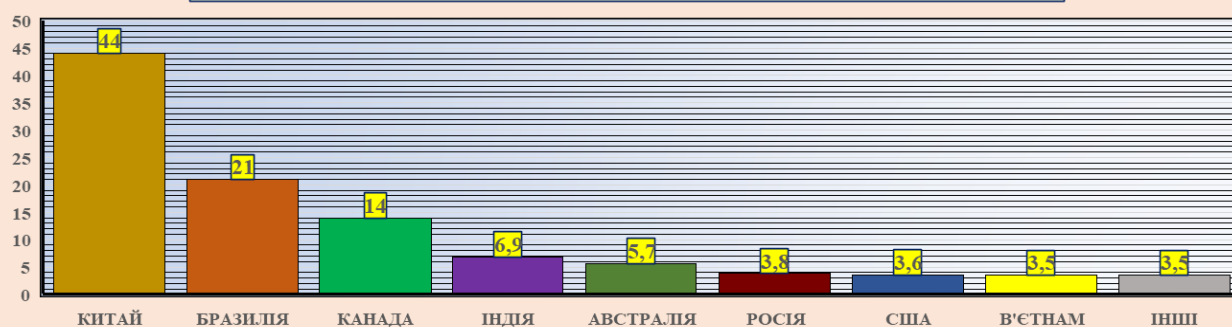
У Табл.3 та на Мал.6, 7 наведено дані щодо обсягу резервів РЗМ у 2024 р. в перерахунку на  $\Sigma TR_2O_3$  за даними USGS [9].

**РЕЗЕРВИ РЗМ У 2024 Р. В ПЕРЕРАХУНКУ НА  $\Sigma TR_2O_3$  ЗА ДАНИМИ USGS, МЛН. Т**

КРАЇНА	США	КАНАДА	КИТАЙ	АВСТРАЛІЯ	БРАЗИЛІЯ	РОСІЯ	ІНДІЯ	В'ЄТНАМ	ІНШІ	ЗАГАЛОМ
ОБСЯГ ЗАПАСІВ, МЛН. Т	3,6	14	44	5,7	21	3,8	6,9	3,5	3,5	106
ЧАСТКА, %	3,40	13,21	41,51	5,38	19,81	3,58	6,51	3,30	3,30	100,00

Табл.3 Обсяги резервів РЗМ у перерахунку на  $\Sigma TR_2O_3$  у 2024 р., млн. т. Авторська Таблиця за даними USGS [9].

**РЕЗЕРВИ РЗМ В ПЕРЕРАХУНКУ НА ОКСИДИ У 2024 Р., МЛН. Т**



Мал.6 Діаграма обсягів резервів РЗМ у перерахунку на  $\Sigma TR_2O_3$  у 2024 р., млн. т. Авторський Малюнок за матеріалами USGS [9].