

© Б.Ю. Собко¹, О.В. Ложніков¹, М.В. Гойчук¹¹ Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

РЕСУРСОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УКРАЇНИ КРИТИЧНОЮ СИРОВИНОЮ У РОЗРІЗІ СВІТОВИХ ТЕНДЕНЦІЙ РОЗВИТКУ ГАЛУЗІ ВИРОБНИЦТВА ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

© B. Sobko¹, O. Lozhnikov¹, M. Hoichuk¹¹ Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

RESOURCE PROVISION OF UKRAINE WITH CRITICAL RAW MATERIALS IN THE CONTEXT OF GLOBAL TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF THE ELECTRIC VEHICLE INDUSTRY

Мета. Встановити ресурсозабезпечення України критичною сировиною, що використовується при виробництві електромобілів.

Методика дослідження. Аналітичний метод досліджень використовувався при аналізі і узагальненні статистичної інформації щодо світового видобутку критичної сировини і зміни її вартості на світовому ринку. Метод техніко-економічного аналізу при прогнозуванні ресурсозабезпечення України в перспективі з урахуванням загальних запасів критичної мінеральної сировини та потреби в ній при виробництві електромобілів.

Результати дослідження. Визначено основні види критичної мінеральної сировини, що знаходяться у надрах України і необхідні для виготовлення елементів живлення електромобілів. Встановлені світові тенденції виробництва електромобілів і зміни в потребі у критичній мінеральній сировині, які дозволяють стверджувати, що видобуток літію, нікелю, кобальту, графіту буде постійно збільшуватися відповідно до зростання продуктивності автомобільних заводів з випуску електричних автівок. Дано характеристику основним гірничо-геологічним умовам залягання критичної мінеральної сировини в Україні і виконано прогнозний аналіз ресурсозабезпечення країни критичними корисними копалинами, що використовуються в елементах живлення електромобілів.

Наукова новизна. Встановлено вплив зростання виробництва електромобілів на видобуток літію, графіту, нікелю, кадмію та їх вартість на світовому ринку. Встановлено відмінності у використанні мінеральної сировини при виробництві електромобілів, бензинових і дизельних авто. Розраховано прогнозовану кількість елементів живлення електромобілів, яка може бути вироблена з критичної мінеральної сировини, що знаходиться у надрах України.

Практичне значення. Визначено загальні балансові запаси критичної мінеральної сировини в Україні, що використовується при виробництві елементів живлення електромобілів. Встановлено об'єми використання критичної сировини при виробництві однієї електричної автівки з усередненими параметрами, що дозволило спрогнозувати ресурсозабезпечення України при виробництві електромобілів.

Ключові слова: критична мінеральна сировина, розробка родовищ, елементи живлення електромобілів, літій, нікель, кобальт, графіт.

1. Актуальність. Пошук альтернативних джерел енергії та її використання сьогодні є одним з найбільш актуальних питань розвитку економіки. Розвиток альтернативних джерел енергії та компактних потужних електродвигунів спричинив значний вплив на різні галузі у тому числі й на автомобілебудівну [1]. Це

призвело до появи значної кількості компаній, що займаються розробкою технологій та виробництвом електричних автомобілів (електромобілів). Оскільки сучасні електромобілі майже не поступаються своїми характеристиками потужності та запасу ходу у порівнянні з бензиновими і дизельними авто це призвело до буму їх споживання. Не дивлячись на високу вартість електромобілів попит на них збільшується колосальними темпами, що спричиняє проблему розвитку галузі їх виробництва, оскільки вона повністю залежить від критичної мінеральної сировини. Ця сировина розташована у родовищах, які мають вкрай обмежені ресурси у порівнянні з іншими корисними копалинами. Зазначена проблема з часом буде посилюватися, адже до 2040 року, за прогнозами експертів, виробництво електромобілів зросте у декілька разів, а згодом електричні автівки повністю замінять моторні.

У цьому зв'язку постає актуальна проблема забезпечення критичною сировиною виробників електромобілів, адже за сучасних технологій без літію, нікелю, кадмію та графіту майже неможливо виготовити потужні елементи живлення, що забезпечують великий запас ходу електричних автівок.

2. Аналіз досліджень. Аналіз сучасного стану досліджень з питань визначення ресурсозабезпечення критичною сировиною європейського і світового ринків автомобілебудування дозволив виявити, що основні дослідження пов'язані з класифікацією родовищ стратегічної сировини, визначенням конкретних компонентів для розвитку «зеленої енергетики» та поділом мінеральної сировини за важливістю відповідно до вимог сучасних технологій виробництва електричних автівок.

Автори роботи [2] наводять перелік стратегічних родовищ мінеральної сировини, що розташовані в Україні. Розглянуто основні райони залягання і перспективи освоєння зазначених родовищ, а також подана інформація щодо загальних об'ємів запасів і місць їх розташувань. Однак в роботі нерозкритим залишається питання щодо вибору ефективного способу розробки родовищ і економічної доцільності їх освоєння.

Дослідження, виконані у роботі [3] дозволяють визначити стан мінерально-сировинної бази України за низкою елементів, необхідних для розвитку «зеленої енергетики» в Європі. Відповідно до ідеї авторів стратегічна мінеральна сировина поділена на чотири групи, які відрізняються ступенем геологічної визначеності, наявними запасами та стадіями потенційного або промислового розвитку. Варто відмітити, що при проведенні досліджень, не розглянуто питання визначення ресурсозабезпечення критичною сировиною виробників електричних автівок.

У роботі [4] систематизовано терміни і методики визначення формулювань критичних різновидів мінеральної сировини (корисних копалин), що використовуються у різних регіонах і країнах світу. Виконано аналіз стану та визначено подальші перспективи використання загальносвітової практики для стимулювання напрямів розвитку української мінерально-сировинної бази. Однак, при виконанні досліджень не розглядається фактор зростаючого попиту на критичну сировину у зв'язку із розвитком ринку електромобілів.

3. Встановлення невирішених проблем. Аналіз науково-дослідних робіт підтверджує, що питання ресурсозабезпечення України критичною мінеральною сировиною є вкрай нагальним, оскільки за останнє десятиріччя суттєво змінився попит промисловості на неї, адже на сьогодні вона є незамінною при виготовленні електромобілів і сучасних гаджетів.

У зв'язку з цим актуальним залишається питання встановлення світових тенденцій виробництва електромобілів, що дозволить визначити динаміку залучення літію, нікелю, кобальту, графіту в розробку і оцінити роль України у постачанні цієї сировини і продуктів з неї на світовий ринок.

Виконання прогностичного аналізу ресурсозабезпечення країни критичними корисними копалинами, що використовуються в елементах живлення електромобілів, має ґрунтуватися на оцінці об'ємних і якісних характеристик родовищ, гірничо-геологічних умовах залягання критичної мінеральної сировини, а також визначення рентабельності їх освоєння відповідно до конкуренції на світовому ринку.

Визначення об'ємів використання критичної сировини при виробництві одного електромобілю з усередненими параметрами, а також балансових запасів критичної сировини в Україні дозволить спрогнозувати її ресурсозабезпечення і подальші перспективи розвитку внутрішнього виробництва елементів живлення електричних автівок.

4. Постановка задач. Визначення показників ресурсозабезпечення критичною сировиною вітчизняного і світового ринків має ґрунтуватися на динаміці зростання попиту виробництв з виготовлення сучасних гаджетів і електромобілів. Зазначена мета може бути досягнута шляхом вирішення наступних завдань: визначити основні види мінеральної сировини, яка використовується при виготовленні електромобілів; проаналізувати тенденції світового ринку споживання критичної мінеральної сировини з урахуванням прогностичних даних; встановити ресурсозабезпеченість України критичною сировиною для функціонування галузі виробництва електромобілів.

5. Основний матеріал.

Основні види мінеральної сировини, які використовуються при виготовленні електромобілів. Світові тенденції розвитку ринку електромобілів призвели до суттєвого збільшення попиту на стратегічні та критичні мінеральні ресурси. В той же час, використання певних металів при виробництві електромобілів залежить від конкретної моделі та виробника, а також технологій, що використовуються. На сьогодні можна констатувати застосування стратегічних мінералів при виготовленні електромобілів: літій, нікель, кобальт, кадмій, графіт, мідь, титан, алюміній тощо.

Значна частина металів, що застосовуються в акумуляторних батареях електромобілів є критичною сировиною, важливість якої визначається окремо для кожної країни в залежності від її впливу на подальший розвиток економіки. Відповідно до Інвестиційного атласу надрокористувача Державної служби геології та надр України до критичних мінералів відносять: літій, титан, нікель, кобальт,

хром, ніобій, берилій, цирконій, скандій, молібден, золото, графіт, церій та вуглеводні. У той же час практика США показує, що до критичних мінералів відносяться: графіт, ніобій, рідкоземельні елементи і тантал, барит, стибій, боксит, вісмут, калій, реній, телур, олово, титан і уран. Це свідчить про відмінність у технологічних ланцюгах і переліку продукції ключових виробництв, які залежать від критичної сировини у зазначених країнах.

Варто зазначити, що масовий випуск електромобілів став можливим завдяки зниженню вартості виготовлення літій-іонних акумуляторів на 97% за останні 30 років [5]. Однак особливе збільшення попиту спостерігається останні десять років, що пов'язано з розвитком світової мережі зарядних станцій та суттєвого збільшення дальності поїздок на одному заряді. Для порівняння темпів зростання об'ємів світового виробництва електромобілів [1] з виробництвом моторних легковиків [6] виконано дослідження об'ємів світового випуску автівок з 2010 по 2021 рік (рис. 1).

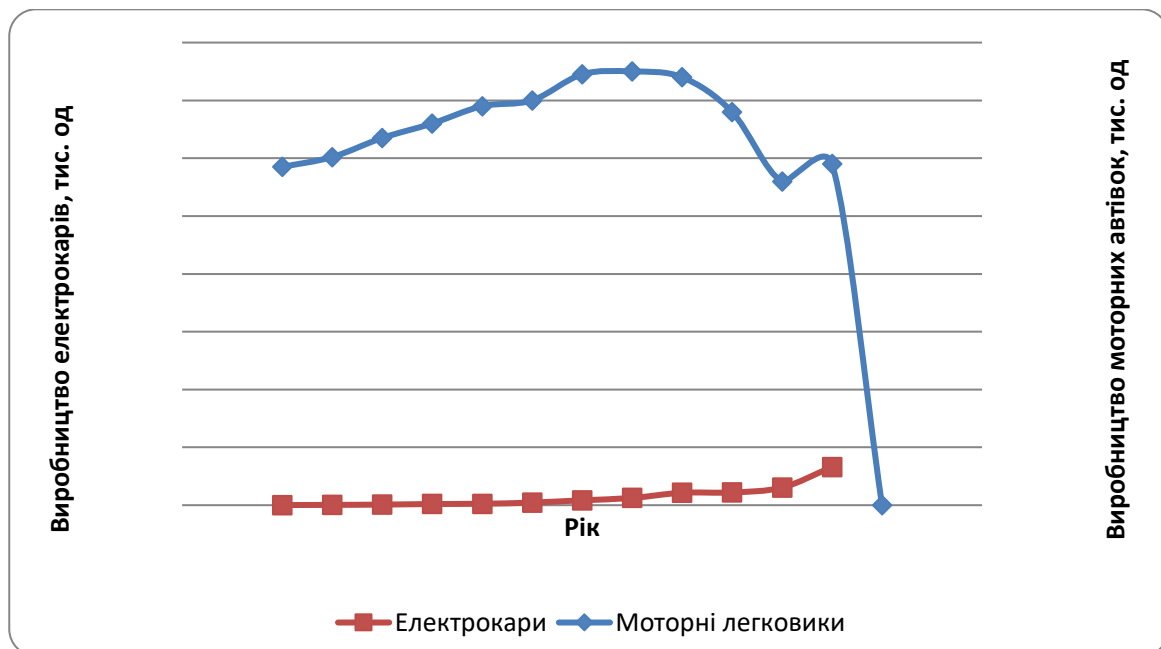


Рис. 1. Світові об'єми виробництва моторних легковиків і електромобілів за період 2010 – 2021 років

Залежності, наведені на рис. 1, дозволяють встановити поступове зниження виробництва моторних легкових автомобілів за останні 5 років на 24 % з 75 до 57 млн од., однак, за аналогічний період спостерігається різке збільшення виробництва електромобілів на 400 % з 1,5 до 6,5 млн од. Таке стрімке зростання, за прогнозами експертів, буде спостерігатися до 2040 року коли більша частина автівок на планеті будуть використовувати електроенергію. Це неодмінно призведе до ще більшого зростання попиту на критичну сировину, ресурси якої в світі є суттєво обмеженими.

Відповідно до результатів, виконаних раніше досліджень [7, 8] встановлено, що для виготовлення електромобілів необхідно залучити значний перелік стратегічної та критичної мінеральної сировини, яка використовується для створення

батарей і електродвигунів. При виробництві електромобілів і моторних легкових автомобілів більша частина металів є тотожною, це стосується елементів кузовів і шасі, однак суттєво відрізняються за складом силові установки і елементи живлення (табл. 1).

Таблиця 1

Витрата металів і мінеральної сировини для виробництві автомобілів

Компоненти	Маса залученої сировини, кг		
	Електромобіль	Бензинове авто	Дизельне авто
Сталь	740	742	959
Алюміній	70	68	72
Мідь	53,2	9	9
Магній	-	0,5	0,5
Марганець	24,5	11,2	11,2
Платина	-	0,001	0,001
Родій	-	0,0002	0,0002
Свинець	-	9	9
Цинк	0,1	0,1	0,1
Графіт*	66,3	-	-
Нікель*	39,9	-	-
Кобальт*	13,3	-	-
Літій*	9	-	-
Рідкоземельні елементи	0,5	-	-
Інші метали	0,3	0,3	0,3
Всього	1017,1	840,1	1061,1

* критичні мінерали

Із загального переліку компонентів для виготовлення електромобілів (табл. 1) в Україні до критичних мінералів відносяться: літій, нікель, кобальт і графіт. Решта компонентів на сьогодні є доступним до залучення і не вважаються критично важливими для розвитку економіки України. Однак, як вже зазначалося раніше, перелік цих компонентів може бути переглянутий в майбутньому відповідно до нових викликів розвитку економіки.

На сьогодні, з чотирьох зазначених критичних елементів, найбільш важливим і критичним в світі є **літій**, оскільки він є незамінним компонентом у сучасних технологіях виготовлення акумуляторних батарей електромобілів. За останні десять років попит на цю критичну сировину підвищився в рази. Не дивлячись на це, прогнозується подальше суттєве зростання попиту на неї. Аналіз процесів виготовлення гібридів і електромобілів показує, що в стандартному гібриді використовується до 12 кг літію, у той час як при виготовленні електромобілів Tesla необхідно залучити від 22 до 50 кг цієї сировини.

Графіт є наступним критичним компонентом при виготовленні сучасних акумуляторних батарей, тому світовий ринок вкрай залежить від постачання цієї сировини. Наприклад в Tesla S використовується до 54 кг графіту. Не дивлячись на його значне географічне поширення перевага віддається сировині з високою чистотою, що отримується шляхом синтезування нафтового коксу.

Ключовим компонентом при виготовленні катоду батареї електромобілів Tesla є **нікель**, в якому його доля сягає 80 %. Для виготовлення одної батареї електромобіля необхідно використати від 29 до 39 кг нікелю. За оцінками аналітиків, підвищення світового попиту на електромобілі на наступні 10 % призведе до збільшення ринку нікелю на 20 %. Варто відзначити, що у порівнянні з іншими корисними копалинами, нікель є дефіцитним мінералом на нашій планеті та практично не зустрічається в природі у чистому вигляді. Нікелева руда в подальшому переплавляється для отримання чистого продукту. До нікелевмісних відносять сульфідно-мідно-нікелеві та оксидно-силікатні руди. Важливим фактором при освоєнні нікелю, який необхідно враховувати при проектуванні виробництва, є значний негативний вплив на навколишнє середовище. При цьому найбільш брудною складовою освоєння є процес збагачення руд, вміст нікелю в яких в середньому складає 3 %. Під час цього процесу руда проходить флотацію і спікання в окатки, в результаті чого в атмосферу виділяється сірчистий газ.

Кобальт є другим за важливістю компонентом при виготовленні електромобілів. Варто відзначити, що цей мінерал є надто дефіцитним у світі, а його запаси можуть бути вичерпані протягом найближчих десятиріч. При виробництві автомобільної батареї електромобіля використовується в середньому 8 кг кобальту. Основна частина світових запасів кобальту знаходиться в Центральноафриканському Мідному поясі, а основною країною постачальником на світовий ринок є ДР Конго.

Аналіз світового ринку споживання критичної мінеральної сировини і прогностичні данні. Згідно з даними Геологічної служби США, станом на 2021 рік світові поклади літію оцінюються у 86 млн т [9]. До 58 % оцінених світових запасів знаходиться на перетині трьох держав Південної Америки – Болівії (21 млн т), Аргентини (19 млн т) і Чилі (до 10 млн т) у так званому «літієвому трикутнику». Також значні запаси критичної сировини розвідані у США (7,9 млн т), Австралії (6,4 млн т), Китаї (5,1 млн т), Німеччині (2,7 млн т), Чехії та Сербії (1,3 та 1,2 млн т, відповідно).

Аналіз світового досвіду видобутку літію показує, що на 2019 рік основними країнами з видобутку є Австралія (52,9 %), Чилі (21,5 %), Китай (9,7 %) та Аргентина (8,3 %) [10]. Поклади літію на солончаках Уюні в Болівії видобувають відкритим способом з соляних озер шляхом переробки літієвмісної ропи.

На сьогодні в світі готуються до введення в експлуатацію десятки нових гірничих підприємств спрямованих на видобуток літію. Проте ціна літію на світових ринках зазнає суттєвих коливань відповідно до збільшення попиту і появи інформації щодо введення в експлуатацію нових родовищ. Наприклад ціна на літій у 2018 році сягала 17 тис. у.о./т, а у 2020 р. вона знизилася до 8 тис. у.о./т,

після чого досягла своєї максимальної позначки 75 тис. у.о./т у 2022 р. при цьому його видобуток постійно збільшується [11] (рис. 2).

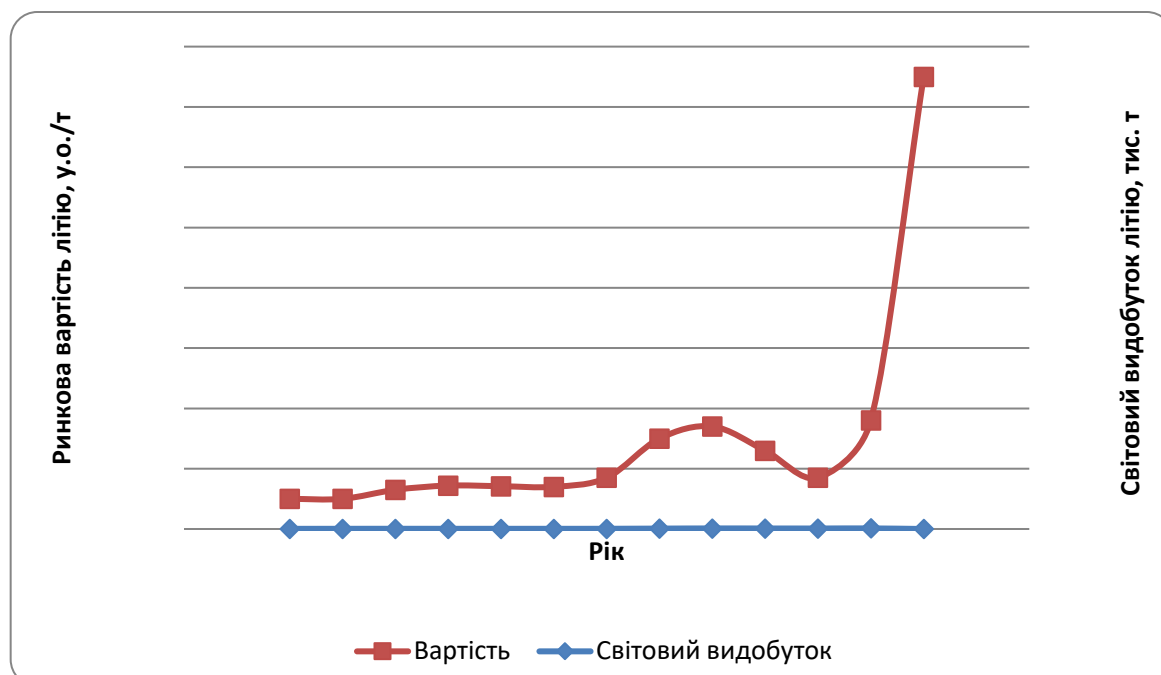


Рис. 2. Світовий видобуток і вартість літію в період 2010 – 2022 років

Відповідно до показників, представлених на рис. 2, спостерігається значне збільшення показників світового видобутку літію. З 2015 до 2021 року його видобуток збільшився в 5 разів з 20 до 100 тис. т, однак це все одно не дозволяє стабілізувати його вартість, яка за два останні роки збільшилася в 9 разів і сьогодні має найвищий показник в історії.

Видобуток графіту в світі останнім часом набуває значної актуальності, оскільки виробництво літій-іонних батарей електромобілів вимагає великих об'ємів залучення цієї сировини [12]. Найбільшим виробником графіту в світі є Китай з виробництвом 700 тис. т на рік (2019 р.). На долю цієї країни приходить до 65 % світового видобутку графіту і 35 % споживання. Видобуток графіту в Мозамбіку у 2019 р. склав 100 тис. т, при цьому у 2017 році друге місце за розробкою займала Індія з 170 тис. т. Третє місце за видобутком графіту займає Бразилія із річним видобутком 95 тис. т. Україна в цьому рейтингу розташувалася на 7 місці з річним видобутком 20 тис. т. Найпотужнішим підприємством України з видобутку графіту є «Заваллівський графіт», розробка на якому проводиться відкритим способом.

Світові ціни на графіт, аналогічно літію, в останні роки суттєво збільшилися і враховуючи прогнозне збільшення виробництва електромобілів вартість цієї сировини в подальшому зростатиме. Попереднє збільшення ціни зафіксовано 2011 – 2012 роках, що було пов'язано зі значним попитом виробників літій-іонних батарей, однак у 2013 році ціни суттєво знизилися у зв'язку з падінням розвитку економіки Китаю та недостатнім розвитком західних економік [13]. Почи-

наючи з 2020 року спостерігається постійне збільшення ціни на графіт, що обумовлено підвищеним попитом за відсутності збільшення об'єму пропозицій. У 2022 році ціна на графіт сягнула 2281 у.о./т [14], що майже наблизило її до показників 2012 р. (рис. 3).

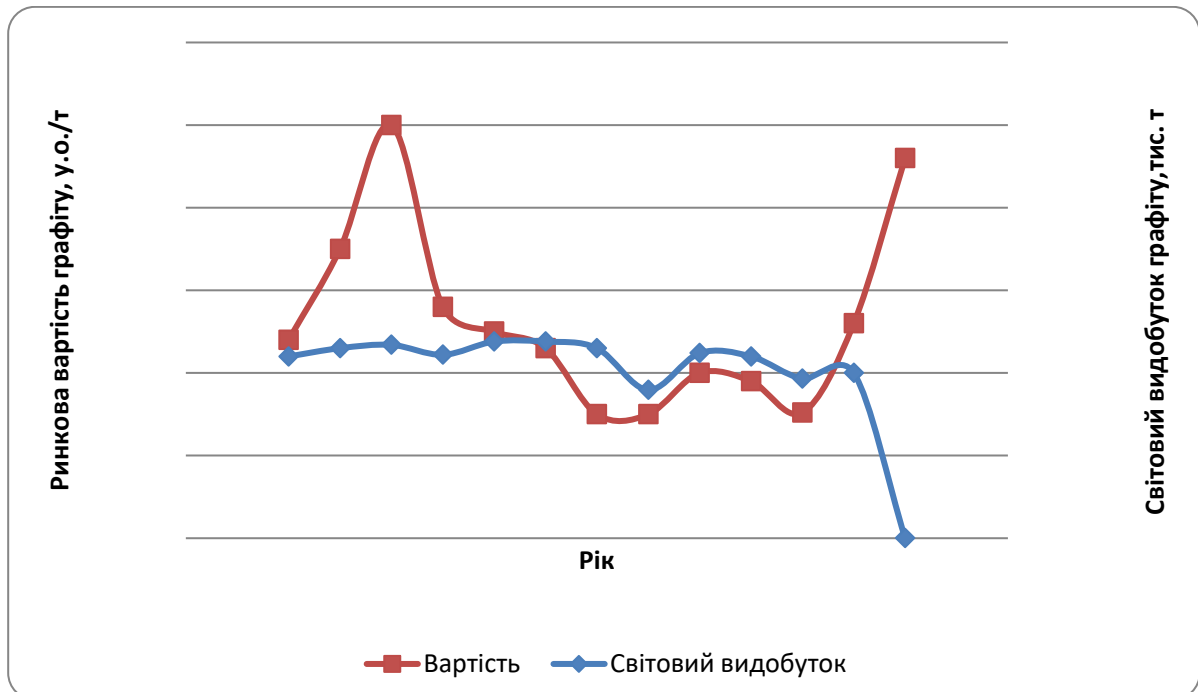


Рис. 3. Світовий видобуток і вартість графіту в період 2010 – 2022 років

Показники, відображені на графіку (рис. 3), дозволяють встановити, що річні об'єми світового видобутку графіту знаходилися в діапазоні 850 – 1250 тис. т, при цьому його вартість суттєво зросла за останні роки. Однак у порівнянні з літєм, збільшення вартості графіту з 2020 по 2022 роки є менш стрімким. За цей період вона зросла у 3 рази з 750 до 2300 у.о./т, при несуттєвому зниженні об'ємів видобутку.

Світові запаси нікелю оцінюються у 210 млн т, при цьому за оцінкою Геологічної служби США наявність руд з вмістом понад 1% складає 130 млн т металу. Варто відзначити, що значні запаси нікелю знайдено на дні Світового океану у залізо-марганцевих утвореннях, які за прогнозними оцінками складають понад 680 млн т при середньому вмісті 0,5 – 1,3 %.

Відповідно до оцінки Геологічної служби США (USGS) світовий видобуток нікелю у 2021 році склав 2,7 млн т, що на 8 % вище за попередній рік. Перше місце в світі за видобутком нікелю займає Індонезія з показником 1 млн т/рік. На другому місці знаходяться Філіппіни з видобутком 370 млн т нікелю на рік [15]. Динаміка росту світового об'єму видобування нікелю і його ринкова вартість [16] представлена на рис. 4.

Основними споживачами нікелю в світі є країни з високотехнологічними галузями економіки, а саме США, Південна Корея, Японія та Китай. Більша частина нікелевої сировини використовується у машинобудуванні, будівництві, хімічній промисловості тощо.

Світовий досвід розробки нікелевих родовищ показує, що видобуток корисної копалини здійснюється відкритим і підземним способом. Оскільки родовища нікелю розташовуються у корінних породах, підготовка до виїмки здійснюється буро-вибуховим способом. Підземний видобуток здійснюється на глибині 1000 м і більше, а у гірничих виробках може утворюватися метан.

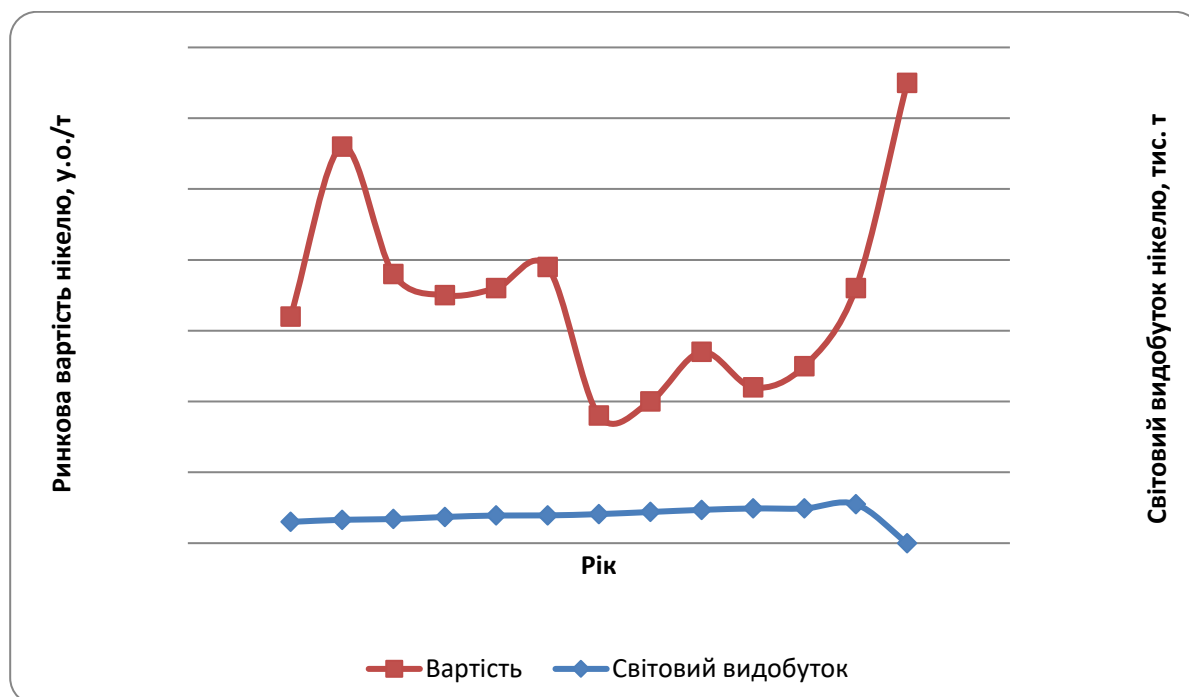


Рис. 4. Світовий видобуток і вартість нікелю в період 2010 – 2022 років

Динаміка зміни вартості і показників світового видобутку нікелю, відображена на рис. 3, дозволяє стверджувати про постійне збільшення об'ємів освоєння цієї сировини. За останні 11 років видобуток нікелю зріс у 1,8 рази з 1500 до 2750 тис. т. Не дивлячись на стабільне збільшення попиту його вартість зазнала суттєвих змін, а її максимальні значення спостерігалися у 2011 і 2022 роках і перевищували 28000 у.о./т, у той час як у 2016 р. вона знизилася в 3 рази до 9000 у.о./т. Динаміку зміни вартості нікелю в значній мірі співпадає з вартістю графіту, не зважаючи на постійне збільшення показників світового видобутку нікелю на відміну від графіту.

За даними Геологічної служби США світові запаси кобальту становлять 7,1 млн т. Найбільше запасів кобальту розвідано в Австралії – 1,2 млн. т. На другому місці розташовується Куба з 490 тис. т. Замикає трійку Конго із запасами кобальту у 310 тис. т. Згідно з інформацією виробників акумуляторів на сьогодні відсоток споживання кобальту цією галуззю складає 42 %. Світова практика показує, що видобуток кобальту залежить від ринку міді та нікелю, оскільки він у 98 % випадків освоюється як супутня сировина цих родовищ, що розробляються відкритим і підземним способами.

Світовим лідером з видобутку кобальту на сьогодні є Конго з 70 % від загального видобутку. Кобальт видобувається як супутня сировина на мідних рудниках, що розробляються відкритим і підземним способами. Варто зазначити, що

значна частина кобальту (до 14 % від світового) видобувається в кустарних шахтах Конго, де робота виконується без засобів механізації. Це призводить до значних жертв через обвалення незакріплених гірничих виробок. На таких рудниках працює до 200 тис. місцевих мешканців.

Австралія є країною з найбільшим потенціалом до зростання об'ємів видобутку кобальту. На сьогодні більше 70 проєктів з розробки цієї мінеральної сировини пройшли затвердження та чекають на впровадження. Їх реалізація дозволить країні з найбільшими запасами кобальту очолити рейтинг країн виробників.

Динаміка росту світового об'єму видобування кобальту і його ринкова вартість [17] на представлена на рис. 5.

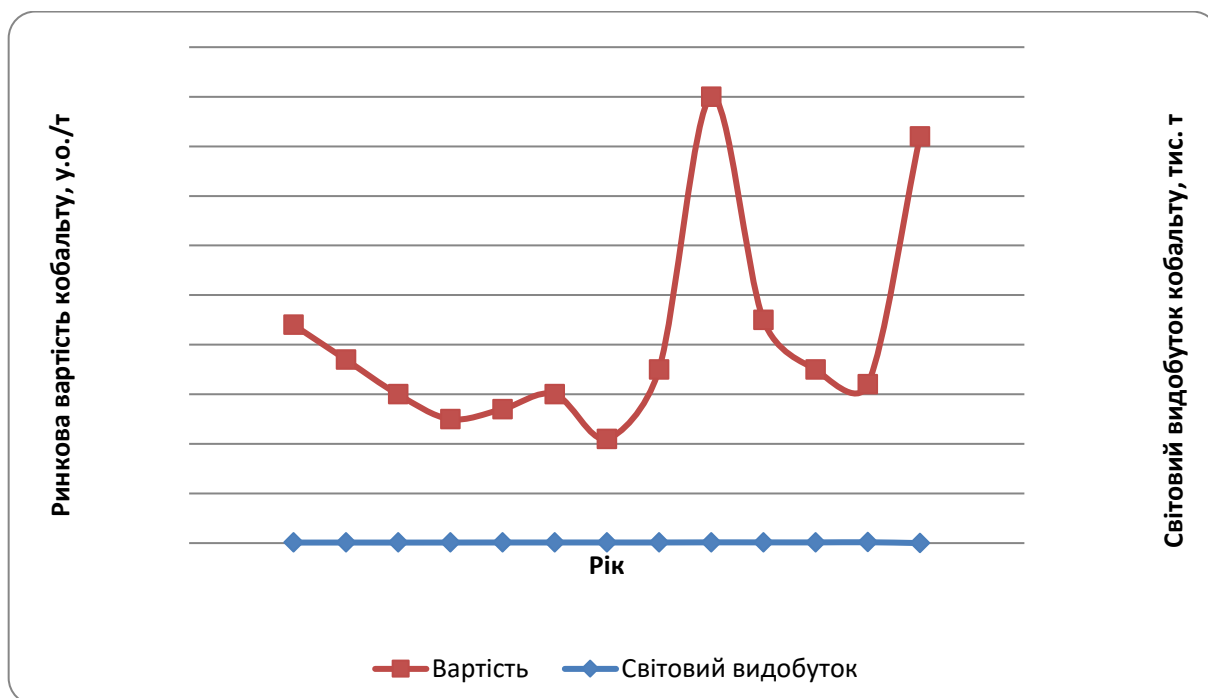


Рис. 5. Світовий видобуток і вартість кобальту в період 2010 – 2022 років

Аналіз динаміки зміни вартості і об'ємів світового видобутку кобальту, відображені на графіку (рис. 5), дозволяє стверджувати, що тенденція зростання об'ємів видобутку є схожою зі нікелем. З 2010 року цей показник збільшився у 1,6 рази зі 108 до 170 тис. т. Однак, варто зазначити, що зростання ціни на кобальт є нетиповим для інших критичних мінералів оскільки максимальна вартість 90000 у.о./т була досягнута у 2018 році, у той час як мінімальна зафіксована у 2016 р. і склала – 21000 у.о./т. Різке підвищення ціни у 2018 році пов'язують з проблемами постачання сировини з ДР Конго і реакцією ринку на залежність ринку електромобілів від цих ризиків. Зростання вартості кобальту з 2021 р. є типовим для всієї критичної мінеральної сировини, що використовується при виробництві електромобілів.

Встановлення ресурсозабезпеченості України критичною сировиною, необхідною для виготовлення електромобілів. На сьогодні видобуток літію в нашій країні не здійснюється, не дивлячись на те, що є три розвіданих родовища з балансовими запасами. До них відноситься Полохівське родовище, розташоване

неподалік міста Мала Виска та ділянка «Добра» Станковатського родовища неподалік Добровеличківки у Кіровоградській області. Третім родовищем є Шевченківське, що знаходиться у Великоновосілківському районі Донецької області.

Ділянка Добра розташована у Новоукраїнському районі Кіровоградської області і займає площу у 88,14 гектарів. Основу видобутку на даному родовищі складає літій, в той час як тантал, ніобій, цезій і берилій – супутні. Потужність розкривних порід складає до 80 метрів, що може підходити як для підземного способу видобутку, так і для відкритого.

Основною корисною копалиною на Шевченківському родовищі є літій, хоча воно також містить тантал, ніобій і берил. Площа усього родовища становить 40,72 гектари, які розташовані у Великоновосілківському районі Донецької області, на східній околиці с. Шевченко. Ключовими геологічними особливостями є значна потужність розкривних (до 500м) і перекриваючих порід (до 120 метрів), а також круте падіння рудних тіл (65–85°). Враховуючи гірничо-геологічні умови, оптимальним способом видобутку літію на цьому родовищі є підземний. Слід зазначити, що через невелику площу рудоносного поля (1100м на 200м) розробку родовища можна проводити однією шахтою.

Також є нерозвідані запаси літію на ділянці «Крута Балка», що знаходиться у межах Бердянського району Запорізької області, неподалік від сіл Радивонівка і Осипенко, на правому березі ріки Берда. Площа даного рудопрояву складає 146,69 гектарів. На цій ділянці можливий видобуток літієвих, танталових, ніобієвих і цезійвмісних руд.

Визначення точних запасів літію в Україні на сьогодні є обмеженим, оскільки ця інформація є засекреченою СБУ [18]. Однак, Державна комісія по запасам України в 2018 році оцінила поклади Полохівського родовища у 27 млн т руди з вмістом цінних компонентів понад 1 %, що приблизно складає 270 тис. т літію. Що стосується Шевченківського родовища, Держслужба геології та надр оцінила його запаси у 13,8 млн т літієвих руд з вмістом оксиду літію Li_2O – 1,5 %, що складає 207 тис. т.

Варто відзначити, що руди українських родовищ літію представлені петалітовими або сподумен-петалітовими різновидами, які є важко збагачувальними, тому собівартість розробки буде вищою ніж у конкурентів у Південній Америці, де літій залягає у гідромінеральних рудах у солених озерах.

Україна має значні поклади графіту приурочені до українського щита з вмістом цінних компонентів 2,5 – 20 %. В цілому в країні виділено чотири графітоносних райони: Бердичівський, Приазовський, Криворізький, Побузькій. На державному балансі запасів корисних копалин знаходиться 6 родовищ графіту. Одним з основних є Завалівське родовище, що знаходиться на лівому березі річки Південний Буг і є найбільшим в Європі з підтвердженими запасами графіту 96,6 млн т (6,1 млн т рядового графіту). Видобуток графіту здійснюється лише на південно-східній ділянці цього родовища відкритим способом. Глибина кар'єру сягає 250 м. Проектна потужність комбінату 800 тис. т руди, а проектний термін експлуатації 110 років. Продукція експортується до країн Євросоюзу, Азії, США та ін.

Нещодавно розвідано два перспективних родовища Балахівське (Кіровоградська обл.) і Буртинське (Хмельницька обл.), які за якісними характеристиками не поступаються Завалівському, тому можуть стати сировинною базою для створення нових гірничих підприємств.

Підтверджені запаси нікелю в Україні становлять 340 тис. т, що складає 0,4 % від загальних світових. Розвідано 10 родовищ нікелю, які розташовані на Кіровоградщині та Дніпропетровщині з розвіданими запасами 217,8 і 121,2 тис. т, відповідно. Переробка нікелевих руд в Україні здійснюється на Побузькому феронікелевому комбінаті, однак зараз це підприємство орієнтовано на імпорту сировину естонської компанії Bowrin Trading, яку завозять з Гватемалії. Це пояснюється підвищеним вмістом імпортової руди, що сягає 1,7 % у порівнянні з вітчизняною 0,9 %. Низький вміст нікелю в руді в українських родовищах призводить до збитковості видобутку. Однак, якщо при проектуванні зазначених родовищ, враховувати прибуток від супутнього видобутку міді, то інвестиційна привабливість розробки нікелевих родовищ України зростатиме.

Виконаний аналіз звіту щорічника «Мінеральні ресурси України» за 2018 р. свідчить, що в країні відсутні великі кобальтові родовища. В наших надрах він розташований як супутній компонент у кобальт-нікелевих родовищах. До родовищ та ділянок з балансовими запасами відносять: Липовеньківське (Кіровоградська обл.), Железняки (Житомирська обл.), Сухохутірська (Дніпропетровська обл.). При цьому вміст кобальту у руді складає 0,04 – 0,14 %. На сьогодні сукупні запаси кобальту підтверджені Держгеослужбою в Україні складають 8 тис. т.

В Липовеньківському родовища поліметалічних руд окрім кобальту ще знаходяться нікель і хром. Місцем розташування родовища є околиці села Липовенькове, Голованьківського району. Потужність рудних тіл складає приблизно 15 метрів, а протяжність 60-80. Держгеонадра пропонує здійснювати розробку родовища відкритим способом через можливість сумісного видобутку кобальто-нікелевих і хромітових руд, які представлені рихлим різноманіттям. Збагачення руд рекомендовано виконувати за колективною схемою через низький відсоток вмісту нікелю у руді (1,05%), а також через важкість збагачення силікатних руд нікелю необхідно використовувати механічний спосіб подрібнення.

Ділянка Железняки з рудопроявом займає площу у 290 гектарів. Ключовими копалинами на даному родовищі є мідь кобальт і нікель, у якості супутніх виступають платина і паладій. Запаси критичної сировини становлять: нікелю – 150,9 тис. т; кобальту – 3,0 тис. т. Падіння пластів на різних частинах ділянки коливається від відносно пологого (40-50 градусів), до крутого (75 градусів).

Відповідно до встановлених запасів критичної мінеральної сировини в Україні розроблено попередній прогноз стосовно ресурсозабезпеченості для виробництва батарей електромобілів. Відповідно до відомих об'ємів споживання критичної мінеральної сировини для виготовлення одного електромобіля з усередненими показниками визначено потенціальну роль українських ресурсів у розвитку світової галузі виробництва електричних автівок (табл. 2).

Таблиця 2

Прогнозована ресурсозабезпеченість України критичною сировиною для виготовлення батарей електромобілів

Критична мінеральна сировина	Усереднений об'єм використання в електромобілі, кг	Балансові запаси України, тис. т	Кількість автівок, млн од.
Літій	22	477	~ 19,51
Нікель	13,3	340	~ 23,01
Графіт	66,3	6100	~ 82,81
Кобальт	13,3	8	~ 0,54

Аналіз результатів розрахунків, наведений у табл. 2, дозволяє стверджувати, що Україна має суттєві ресурси для забезпечення критичною сировиною галузь електромобілебудування. Окрім значних запасів чорних і кольорових металів для виготовлення кузовів і комплектуючих автомобілів, українські запаси критичних мінералів літію, нікелю, графіту дозволять забезпечити сталий розвиток світового виробництва електромобілів. Найбільший ресурсний потенціал у забезпеченні світового ринку має графіт, запаси якого дозволяють виготовити більше 80 млн електричних автівок. Запаси нікелю та літію також дозволяють виготовити близько 20 млн авто. У той же час розвідані запаси кобальту є вкрай обмеженими і ресурсний потенціал України дозволить забезпечити сировиною виробництво лише 0,5 млн електромобілів.

Висновки.

Встановлено, що до критичної мінеральної сировини для виготовлення електромобілів, які знаходяться у надрах Україні відноситься літій, нікель, кобальт, графіт. Найбільш критичним з перелічених мінералів є літій, оскільки без нього за сучасних технологій виробництво елементів живлення електромобілів є неможливим.

Визначені тенденції світового ринку споживання критичної мінеральної сировини для виробництва електромобілів дозволяють стверджувати, що потреба у зазначеній сировині та її вартість будуть збільшуватися до 2040 року, відповідно до прогнозу зростання попиту на електричні автівки в світі.

Встановлено основні родовища критичної мінеральної сировини України та їх балансові запаси, а також потреба в кожному мінералі для виготовлення одного елементу живлення електромобіля з усередненими показниками, дозволяють встановити ресурсозабезпеченість країни в галузі виробництва електричних автівок. Найбільший ресурсний потенціал Україна має в освоєнні графіту, нікелю, літію, які потенціально забезпечують випуск від 20 до 80 млн електромобілів. Однак розвідані запаси кобальту в Україні є обмеженими і знаходяться у складних гірничо-геологічних умовах поліметалічних родовищ. Їх загальний видобуток забезпечить виробництво до 540 тис. електричних автівок.

Перелік посилань

1. *Global EV Sales for 2022 H1* (n.d). Retrieved September 29, 2022, from <https://www.ev-volumes.com>
2. Rudko H. I., Lytvyniuk S. F., Karly V. E. (2021). Deposits of critical mineral raw materials of Ukraine. Condition and prospects. *Innovative development of resource-saving technologies and sustainable use of natural resources*, 97.
3. Mykhailov V. A., Hrinchenko O. V., Malyuk B. I. (2022). Exploration and mining perspectives of the critical elements for green technologies in Ukraine. *Geological Society, London, Special Publications*, 526.
4. Баряцька, Н. В. (2020). The concept of critical minerals as a mean of stimulate the development of subsoil use in Ukraine. *Мінеральні ресурси України*, (2), 13-18.
5. Ziegler, M. S., & Trancik, J. E. (2021). Re-examining rates of lithium-ion battery technology improvement and cost decline. *Energy & Environmental Science*, 14 (4), 1635-1651.
6. *Statista. Production of passenger cars worldwide from 1998 to 2021* (n.d). Retrieved September 29, 2022, from <https://www.statista.com/statistics/268739/production-of-passenger-vehicles-worldwide/>
7. Nemry, F., Leduc, G., Mongelli, I., & Uihlein, A. (2008). Environmental improvement of passenger vehicles (IMPRO-car). *Institute for Prospective Technological Studies*, 1(1), 1-216.
8. *EVs vs. gas vehicles: What are cars made out of?* (n.d). Retrieved September 29, 2022, from <https://www.mining.com/web/evs-vs-gas-vehicles-what-are-cars-made-out-of/>
9. *Lithium. Data in metric tons of lithium content unless otherwise noted* (n.d). Retrieved September 29, 2022, from <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021-lithium.pdf>
10. *The World's Top Lithium Producers* (n.d). Retrieved September 29, 2022, from <https://www.forbes.com/sites/rpapier/2020/12/13/the-worlds-top-lithium-producers/?sh=4747680a5bc6>
11. *Statista. Mine production of lithium worldwide from 2010 to 2021* (n.d). Retrieved September 29, 2022, from <https://www.statista.com/statistics/606684/world-production-of-lithium/>
12. *Graphite. A comprehensive market guide to natural and synthetic graphite* (n.d). Retrieved September 29, 2022, from <https://www.fastmarkets.com/industrial-minerals/graphite>
13. *Graphite Miners News For The Month Of June 2022* (n.d). Retrieved September 29, 2022, from <https://seekingalpha.com/article/4520914-graphite-miners-news-for-june-2022>
14. *Statista. Production volume of graphite worldwide from 2010 to 2021* (n.d). Retrieved September 29, 2022, from <https://www.statista.com/statistics/1005851/global-graphite-production/>
15. *Statista. Consumption volume of nickel worldwide from 2010 to 2021* (n.d). Retrieved September 29, 2022, from <https://www.statista.com/statistics/273635/consumption-of-nickel-since-2007/>
16. *Trading Economics. Nickel* (n.d). Retrieved September 29, 2022, from <https://tradingeconomics.com/commodity/nickel>
17. *Trading Economics. Cobalt* (n.d). Retrieved September 29, 2022, from <https://tradingeconomics.com/commodity/cobalt>
18. *Про затвердження Зводу відомостей, що становлять державну таємницю* (n.d). Retrieved September 29, 2022, from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0902-05#Text>

ABSTRACT

Purpose. Establish indicators of Ukraine's resource supply with critical raw materials used in the production of electric vehicles.

Research methodology. The analytical method of research was used at the analysis and generalization of statistical information on the world production of critical raw materials and changes in its value on the world market. Technical and economic analysis in forecasting the resource supply of Ukraine in the future, taking into account the total reserves of critical mineral raw materials and the need for it at the production of electric vehicles.

The results. The main types of critical raw minerals located in the bowels of Ukraine, necessary for the manufacture of batteries for electric vehicles, have been determined. The global trends in the production of electric vehicles and changes in the needs for critical mineral raw materials have been established, which allow to assert that the production of lithium, nickel, cobalt, graphite will constantly increase in accordance with the growth of the automobile plants productivity at the production of electric vehicles. The general mining and geological conditions of the critical raw materials occurrence in Ukraine are characterized and a predictive analysis of the resource supply of the country with critical minerals that are used in the batteries of electric vehicles is carried out.

Scientific novelty. The influence of the growth in the production of electric vehicles on the production of lithium, graphite, nickel, cadmium and their value in the world market has been established. Differences in the use of mineral raw materials in the production of electric vehicles, gasoline and diesel vehicles have been established. The predicted number of batteries for electric vehicles that can be produced from critical mineral raw materials located in the depths of Ukraine has been calculated.

Practical value. The total balance reserves of critical mineral raw materials in Ukraine, which are used in the production of batteries for electric vehicles, have been determined. The volumes of the use of critical raw materials in the production of one electric car with averaged parameters have been established, which made it possible to predict the resource supply of Ukraine in the production of electric vehicles.

Keywords: *critical mineral raw materials, mining, batteries for electric vehicles, lithium, nickel, cobalt, graphite.*