

УДК 553.493.57

 <https://doi.org/10.31996/mru.2019.3.11-14>

I. В. ВАСИЛЬЄВА, аспірантка Українського державного геологорозвідувального інституту, vasilieva1982@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-5487-9896>

I. VASILEVA, graduate student (Ukrainian State Geological Research Institute), Kyiv, Ukraine, vasilieva1982@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-5487-9896>

УМІСТ ГЕРМАНІЮ У ВУГІЛЬНИХ ПЛАСТАХ ЛЬВІВСЬКО-ВОЛИНСЬКОГО БАСЕЙНУ ТА ДОНБАСУ

CONTENTS OF GERMANIUM IN COAL SEAMS LVIV-VOLYN BASIN AND DONBAS

Основним джерелом вилучення германію в Україні є вугілля. Згідно із сучасними вимогами вміст германію в енергетичному вугіллі має перевищувати 10 г/т (повітряно-сухої ваги), у коксівному – 3 г/т. Крім вугілля, для отримання германію також придатні вуглевмісні породи та шахтні води. В Україні германієносні вугільні пласти поширені у відкладах Львівсько-Волинського й Донецького басейнів.

Пошуково-розвідувальні роботи на германій сягнули найбільшого розвитку, починаючи з 1954 р. Роботи тривали на різних родовищах корисних копалин і мали на меті виявити сировинні джерела для супутнього вилучення германію. Ступінь вивченості й промислове освоєння цих районів неоднакові. Уміст германію у вугіллі різних пластів варіює в широкому діапазоні.

Германій використовують у багатьох галузях промисловості, і попит на нього постійно зростає. Супутнє вилучення германію – це один зі способів поліпшення економічних показників вугільної галузі.

Ключові слова: супутні елементи, германій, вугільний пласт, вугільний басейн, вугілля, пошуково-розвідувальні роботи.

The main source of germanium sequestration in Ukraine is coal. According to modern requirements, the content of germanium in coal should be more than 10 g/t (air-dry weight), in coking - 3 g/t. Germanium can be obtained from mine water and coal rocks, as well. In Ukraine, germanium carbonate rocks are distributed in the sediments of the Lviv-Volyn and Donetsk basins. The distribution of germanium in the rocks of coal basins is different and rarely obeys laws. All coal layers tested are more or less germanium. Tectonic disturbances had no controlling effect on the accumulation and spread of germanium in the coal basin. The highest content of germanium is found in the central and western parts of the Donetsk coal basin district.

The search and reconnaissance work on germanium has been widely disseminated since 1954. The work was carried out at various mineral deposits in order to identify raw materials for the related extraction of germanium. The degree of study and industrial development of these areas are different. The content of germanium in the coal of different layers varies in a wide range.

Germanium is used in many industries and demand for it is constantly increasing. The scope of the metal is quite wide; it is used for the manufacture of transistors and circuits, for engineering and electronics. Radar installations use thin germanium films that are pre-applied to the glass substrate.

The subsequent withdrawal of germanium is one way to improve the economic performance of the coal industry. Concomitant extraction of germanium from coal, products of its processing and mine waters of Donbas is now quite realistic and can help to increase the profitability of coal enterprises.

Keywords: related elements, germanium, coal seam, coal basin, coal, prospecting.

Германій має велике значення в багатьох галузях промисловості, і попит на нього постійно зростає. Сфера застосування металу досить широка, його використовують для виготовлення транзисторів і мікросхем, застосовуваних у техніці та електроніці. У радарних установках як елементи опору використовують тонкі германієві плівки, які попередньо наносять на скляну основу. Як елемент сплавів германій використовують у виробництві детекторів і радарів [7].

Цей елемент є стратегічно важливим матеріалом, який використовують для виготовлення оптичних приладів, що пропускають інфрачервоне світло [9]. Оптиковолоконні системи, інфрачервона оптика й напівпровідникові діоди, виготовлені з германію, повсюдно використовують у комп'ютерній техніці, приладах нічного бачення, навколосезонних супутниках і системах наведення ракет. Германій є надпровідним матеріалом, який зберігає свої характеристики в умовах роботи за температури рідкого азоту. Застосовують метал і в ядерній фізиці, з нього виробляють детектори, що вловлюють гамма-випромінювання.

Германій унаслідок незначного вмісту в земній корі й геохімічної спорідненості з деякими дуже поширеними елементами виявляє обмежену здатність до утворення власних мінералів, проникаючи в кристалічні решітки інших мінералів. Тому власні мінерали германію трапляються вкрай рідко.

Починаючи з 1954 року, широкого розвитку набули пошуково-розвідувальні роботи на германій. Роботи тривали на різних родовищах корисних копалин з метою виявлення сировинних джерел для супутнього вилучення германію. Унаслідок ревізійних робіт з'ясовано, що джерелом промислового виробництва германію має стати енергетичне вугілля, сировинна база якого досить перспективна.

В Україні германієносні вугільні пласти поширені у відкладах Львівсько-Волинського й Донецького басейнів. Ступінь вивченості й промислове освоєння цих районів неоднакові. Уміст германію у вугіллі різних пластів варіює в широкому діапазоні. У різні часи на етапах розвідувальних робіт та на стадії освоєння родовищ вугілля тривали дослідження вмісту германію у вугіллі для його подальшого вилучення.

Львівсько-Волинський басейн. В адміністративному плані площа охоплює північно-західну частину Львівської та південно-західну частину Волинської областей України. У геологічній будові Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну беруть участь комплекси порід від докембрію до четвертинного періоду. Найдослідженішими є відклади кам'яновугільної системи. З достатньою повнотою вивчено також мезозойсько-кайнозойські відклади, що їх укривають. Відомості про давні палеозойські та докембрійські відклади ґрунтуються на даних геофізичної розвідки й невеликої кількості пошукових свердловин, що нерівномірно розміщені по території басейну та за його межами [4].

У геоструктурному плані Львівсько-Волинський басейн охоплює центральну частину палеозойського прогину, що отримав назву в геологічній літературі Львівсько-Брестська западина. На півночі вона переходить у Білорусько-Подільську западину, на півдні – Прикарпатську депресію.

Палеозойські відклади Львівсько-Волинської западини слабо дислоковані та зберігають форму рельєфу кристалічної основи. На тлі загального пологого моноклінального падіння кам'яновугільних утворень на захід під кутом 1–3° геологорозвідувальними й геофізичними роботами встановлено дислокації другого порядку у вигляді окремих підняттях і занурень.

Вугленосними є вестфальський, наміюрський, візейський яруси, до яких належать понад 50 пластів і прошарків вугілля. Найбільшу вугленосність мають відклади наміюрського ярусу, до якого належать основні промислові пласти басейну: $n_8^s, n_8, n_7^s, n_7, n_7^u$. Вугленосність основної продуктивної товщі – наміюра – помітно збільшується в південному напрямку. Робочої потужності досягають від двох до п'яти пластів, залежно від розміщення.

За потужністю всі вугільні пласти басейну зараховують до категорії тонких 0,50–1,50 м, за стійкістю – до групи нестійких. Пласти вугілля мають переважно просту будову, належать до марки Г, груп Г₆, Г₁₂.

Дослідження германієносності вугілля на площі басейну було розпочато 1955 року. Випробування пластів тривало у два етапи: попередній і детальний. Під час попереднього етапу за рідкою сіткою було випробувано всі шахтопласти з використанням усіх відомостей стосовно них, накопичених упродовж попередніх досліджень. Одночасно із цим було встановлено поширення германію по розрізу пласта та площі басейну.

Під час детального етапу розвідки основний обсяг випробувальних робіт був зосереджений на найперспективніших за вмістом германію площах – на робочих шахтах Волинського родовища. Водночас із масовим випробуванням на германій тривало спеціальне випробування задля отримання даних щодо збагачення вугілля на германій, галій і берилій, а також інформації стосовно закономірностей концентрації та поширення германію у вугіллі басейну.

У стратиграфічному розрізі із 16 вугільних пластів найщільніше випробувані п'ять основних пластів: $n_8^s, n_8, n_7^s, n_7, n_7^u$. Уміст германію у вугіллі визначали напівкількісним спектральним методом. Разом з германієм розшифровували спектрограми для 25 інших малих елементів: Be, Ga, Sc, Y, Yb, La, V, Cr, Co, Ni, Zn, Sn, W, Pb, Mo, Zr, Ag, As, Sb, Hf, Te, Tl, Nb, In, Cd.

Золу вугілля аналізували за методом Клера. Починаючи з 1958 р., застосовували кількісний спектральний і хімічний методи. З 1960 р. вміст германію у вугіллі басейну визначали лише хімічним способом.

Вугілля Львівсько-Волинського басейну за вмістом і характером поширення германію належить до категорії бідних з нерівномірним поширенням як за площею, так і стратиграфічним розрізом. Уміст германію на площі басейну досягає максимальних значень у центральній частині басейну, у південно-північному напрямку він набагато зменшується (табл. 1).

Уміщувальні породи теж, як і вугілля, є носіями германію, у кількісному співвідношенні вони у 2,1–3,7 раза бідніші на германій, ніж вугілля. Середній уміст германію у вміщувальних породах басейну до 2 г/т. Бідні на германій також і породні прошарки, уміст германію в яких становить 1–2 г/т.

Під час досліджень умісту й поширення германію у вугіллі та вміщувальних породах встановлено такі закономірності поведінки германію в процесі накопичення осадів.

1. Поширення германію по розрізу пласта нерівномірне, що проявляється в аномальному зруденні невеликих за потужністю (0,10–0,20 м) прошарків вугілля в покрівлі та підшві пласта.

2. Тектонічні порушення не мали контролювального впливу на накопичення й поширення германію у вугіллі басейну.

3. Між потужністю пласта й умістом германію є зворотна залежність – зі збільшенням потужності пласта вміст германію зменшується.

4. Мінеральні домішки двояко впливають на осад германію у вугільному пласті. Прямий зв'язок або ж його відсутність спостережено в прошарках вугілля із зольністю 16–18 %. Перевищення встановленої межі за золою веде до різко негативної корелятивної залежності. Таким чином, германію притаманна вибіркова приуроченість до вугілля з невеликою зольністю, тобто малозольне вугілля (до 18 %) перспективніше на германій, ніж високозольне.

5. Петрографічний склад вугілля не є контролювальним чинником накопичення й розподілу германію у вугіллі басейну. Однак роль вихідної речовини під час накопичення й акумуляції германію була неоднаковою й проявлялась у вибірковій концентрації його геліфікованою речовиною.

Західний Донбас. Це промислово розвинений вугленосний район. Площа його охоплює широку смугу розвитку продуктивних відкладень нижнього й середнього карбону, що простягається від промислового Донбасу на північний захід на понад 250 км.

Таблиця 1. Середній уміст германію в пластах вугілля потужністю від 0,20 м і більше

Синоніміка пласта	Забугське родовище			Міжрічанське родовище			Волинське родовище		
	Потужність пласта, м	Уміст германію, г/т		Потужність пласта, м	Уміст германію, г/т		Потужність пласта, м	Уміст германію, г/т	
		У вугіллі	У золі		У вугіллі	У золі		У вугіллі	У золі
w ₄	0,63	7,9	97						
w ₃	0,32	7,4	40	0,45	4,5	24			
w ₁	0,43	8,4	80	0,54	6,1	47			
n ₁₂	0,38	8,4	72	0,38	7,8	40			
n ₁₁	0,38	7,6	32	0,37	11,1	66			
n ₁₀	0,28	12,5	65	0,50	4,0	17			
n ₈ ^s	0,64	5,5	30	0,84	2,8	15			
n ₈ ^u	0,54	6,6	74	0,57	4,1	35	1,20	4,1	33
n ₇ ^s	0,52	6,2	34	0,77	3,9	24	0,44	4,8	26
n ₇ ^u	0,45	7,0	38	0,56	4,5	30	0,71	6,9	51
n ₇ ^u	0,55	6,3	37	1,30	2,3	22			
n ₆	0,64	5,0	20						

Розвідані родовища нижнього карбону, особливо в Павлоградсько-Петропавлівському геологопромисловому районі, на сьогодні і далі інтенсивно освоює промисловість [5].

У геологічній будові району бере участь потужний комплекс осадових утворень девонського, кам'яновугільного, пермського, тріасового, юрського, палеогенового й четвертинного віку, що лежать на породах докембрійського кристалічного фундаменту.

Кам'яновугільні відклади в районі представлені всіма свитами нижнього й середнього відділів. Основною продуктивною товщею нижнього карбону є самарська свита C_1^3 (С), яка розділяється на дві підсвіти. Нижня підсвіта залягає в інтервалі вапняків C_1-C_5 і містить 60 вугільних пластів і прошарків, з яких 21 пласт має промислове значення. Середня потужність нижньої підсвіти становить приблизно 400 м. Верхня підсвіта має потужність 70–80 м і характеризується майже повною відсутністю вугілля.

Відклади середнього карбону мають широкий розвиток у північній частині району, де їхня потужність досягає 1800 м. Усі свити середнього карбону містять вугільні пласти робочої потужності, але найпродуктивнішими є свити C_2^6 і C_2^7 . Уміщувальні породи карбонових відкладів представлені перемешованими між собою шарами аргілітів, алевролітів, пісковиків і вапняків.

Потужність пластів аргілітів коливається від декількох сантиметрів до 20–30 м, алевролітів – до 40–50 м. Алевроліти часто перешаровуються тонкими пластами пісковіку. В аргілітах є вкраплення кремнієво-глинистих нирок. Пласти пісковиків мають потужність до 45 м, вапняків – до 10 м. Процентне співвідношення порід карбонових відкладень у розрізі, за даними пробурених під час дослідження свердловин, таке: аргіліти – 40,3 %; алевроліти – 29,7 %; пісковики – 27,0 %; вугілля – 1,5 %; вапняки – 1,5 %.

Вугленосна карбонова товща перекрита мезозойськими відкладами потужністю від 50 до 300 і більше метрів, представленими переважно піщано-глинистими породами. До глинистих порід належать щільні, в'язкі глини, строкато-кольорові й світло-сірі, а також лесоподібні суглинки четвертинного періоду. До піщаних порід належать слабо зцементовані дрібнозернисті пісковики й пухкі піски. Пісковики часто містять гальку і гравій.

Західний Донбас приурочений до південно-східного крила Дніпровсько-Донецької западини. Комплекс осадових порід характеризується моноклінальним заляганням з кутами

падіння 2–5° у напрямку до осі западини. Переважне простягання порід – північно-західне.

Основним типом тектонічних порушень у басейні є скиди. Скиди зазвичай стрімко падні, паралельні, рідко такі, що сходяться та створюють цілу систему розломів. Куты падіння площин змішувачів становлять 40–85°, амплітуда зміщення від кількох до 350 метрів. Складчасті форми дислокації спостерігаються на окремих, найбільш порушених ділянках і проявляються у вигляді хвилястого залягання порід, що місцями переходить у дрібну пологу складчастість з кутами падіння крил від 3–5° до 7–8°.

Вивчення германієносності кам'яного вугілля Західного Донбасу систематично розпочато з 1955 р. На першому етапі дослідження проводили методом спектрального напівкількісного аналізу. З-поміж виконавців – трест “Дніпрогеологія”, Львівська й Дніпропетровська геологічні експедиції та трест “Артемгеологія”.

Упродовж 1951–1959 років досліджено 18189 проб. З них за родовищами Західного Донбасу – 12097 проб, Львівсько-Волинського району – 3322 проби, Дніпробасу – 2770 проб. Унаслідок досліджень у кам'яному вугіллі Західного Донбасу визначено промисловий уміст германію 0,18 % у золі. Зіставляючи дані, отримані за іншими вугільними басейнами, встановлено, що вугленосна площа родовищ Донбасу належить до родовищ з найбагатшим рудопроявом германію. Германієносним є вугілля нижнього й середнього карбону.

Під час другого етапу випробування пластів 1956 року складено карту поширення та вмісту германію масштабу 1:25000. Відібрані з розвідувальних свердловин проби досліджено за допомогою: напівкількісного спектрального аналізу, кількісного спектрального аналізу, хімічного аналізу, вуглепетрографічних методів. Уміст германію за деякими вугільними пластами Західного Донбасу репрезентовано в табл. 2.

На підставі досліджень германієносності вугілля Західного Донбасу зроблено такі висновки.

1. Усі випробувані пласти вугілля більшою чи меншою мірою є германієносними.
2. Просторове поширення германію в кожному пласті окремо та за стратиграфічним розрізом загалом нерівномірне; закономірностей не виявлено.
3. Найбільш германієносними пластами є такі: c^1_4 , c^3_4 , c^3_6 , c^b_7 , c_9 . До пластів з найменшим умістом германію належать: c_1 , c^1_2 , c_6 , c^{10} , c^b_{10} (9 г/т).

Таблиця 2. Уміст германію в деяких вугільних пластах Західного Донбасу

Синоніміка пласта	Характеристика вугільного пласта	Загальна площа германієносного вугілля, км ²	Середньозважений уміст германію, г/т
V_8	потужність до 0,45–0,60 м, будова складна	26,7	11,6
c_3	потужність невитримана, до 0,45–0,75 м, будова проста	142,4	10,1
c^1_4	потужність 0,45–0,75 м, будова проста, трапляються розмиви пласта по площі	278,6	11,0
c^3_4	невитриманий, 0,45–0,95 м	137,1	12,1
c^4_4	потужність 0,50–0,60 м, будова проста	86,3	11,7
c^1_5	потужність 0,10–0,35 м (іноді 0,40–0,45 м), будова проста	63,6	9,35
c^3_6	порівняно стійкий робочий пласт з потужністю 0,45–0,75 м	186,2	10,1
c^b_7	потужність не перевищує 0,75 м, будова проста	247,9	11,35
c_9	потужність 0,45–1,20 м, будова проста	91,8	10,7
c^h_{10}	потужність неробоча, будова складна	38,3	9,35
$c^2_{10}^b$	потужність невитримана, будова складна	33,3	10,6
c_{11}	потужність до 0,40–0,50 м, пласт нестійкий	27,7	11,1
c_{12}	потужність від 0,45 до 0,70 м, будова проста	41,6	11,0

Таблиця 3. Результати атомно-емісійного спектрального аналізу вугільно-породного матеріалу відвалу ш. “Київська”

№ проби	Масова частка германію у %, що обчислюється на повітряно-сухе навішування	Уміст германію, г/т	Примітки
проба 1	$2 \cdot 10^{-4}$	2,0	проба з осередку нагрівання порід, глибина 25 см, t 109 °C
проба 2	$2 \cdot 10^{-4}$	2,0	проба з осередку нагрівання порід, глибина 25 см, t 90 °C
проба 3	$2 \cdot 10^{-4}$	2,0	проба з осередку нагрівання порід, глибина 25 см, t 60 °C
проба 4	$1,5 \cdot 10^{-4}$	1,5	проба з осередку нагрівання порід, глибина 25 см, t 60 °C
проба 5	$3 \cdot 10^{-4}$	3,0	проба з осередку нагрівання порід, глибина 25 см, t 50 °C
проба 6	$3 \cdot 10^{-4}$	3,0	пробу відібрано з ділянки перегорілої породи
проба 7	$1 \cdot 10^{-4}$	–	пробу відібрано з ділянки перегорілої породи
проба 8	$1,5 \cdot 10^{-4}$	1,5	пробу відібрано з ділянки перегорілої породи
проба 9	$2 \cdot 10^{-4}$	2,0	пробу відібрано з ділянки свіжовідсипаної породи

4. Найбільше зруденіння розміщується в центральній та західній частинах району на ділянках Димитрівській, Таранівській, Алефірівській, Благодатненській, Павлоградській.

5. Збагачені германієм ділянки та лінзи мають звивисті контури й розміщуються як на виходах пластів, так і на їхньому середньому й глибокому заляганні.

6. Уміст германію зменшується від кларенів до ультрадіуренів і прямо залежить від умісту мікрокомпонентів групи вітриніту та обернено – від умісту мікрокомпонентів групи фіузеніту та лейптиніту.

7. Основним концентратором германію є геліфікована речовина незалежно від типу вугілля.

Уміст германію в породних відвалах вугільних шахт. Вугілля Львівсько-Волинського й Донецького басейнів характеризується досить високим умістом германію. Під час видобутку германій не вилучають [3]. Але попередні дослідження вказують на те, що в продуктах збагачення й шахтних водах також трапляються його промислові концентрації.

2013 року співробітники УкрДГРІ дослідили породи відвалу ш. “Київська” [1]. Випробувано верхні шари породного відвалу. Результати атомно-емісійного спектрального аналізу свідчать про зменшення концентрації германію у вугільно-породному матеріалі відвалу, порівнюючи з концентрацією германію у вугільних пластах шахти. Це може бути пов'язане з його леткістю. Результати атомно-емісійного спектрального аналізу наведено у табл. 3.

Супутне вилучення германію – це один зі способів поліпшення економічних показників вугільної галузі. Його вартість на світовому ринку становить 1300 дол./кг і постійно коливається [8]. Головним джерелом вилучення германію в Україні є вугілля. Згідно із сучасними вимогами вміст германію в енергетичному вугіллі має перевищувати 10 г/т (повітряно-сухої ваги), у коксівному – 3 г/т. Для отримання германію також придатні вміщувальні породи та шахтні води.

Щоб отримати докладнішу інформацію про вміст германію у вугільних пластах, характер його поширення по вугільній товщі, крім лабораторних методів дослідження керна, можна також скористатися методами спектрометричного каротажу. Спектрометрія гамма-випромінювання непружного розсіяння нейтронів ґрунтується на ефекті взаємодії швидких нейтронів, які випускає зовнішнє джерело, з ядрами елементів у складі гірських порід. Швидкі нейтрони в процесі непружних зіткнень породжують жорстке гамма-випромінювання, вимірювання спектра якого дає змогу виявити наявність багатьох елементів у породі, зокрема вуглецю, кремнію, германію тощо. Цей метод каротажу рекомендовано внести до складу комплексу геофізичних досліджень свердловин (ГДС) вугільних родовищ для того, щоб на

стадії розвідки й освоєння родовища визначити наявність германію у вугільних пластах і його ймовірну кількість.

Залежно від складу вихідної сировини застосовують різні способи первинного оброблення матеріалу для отримання багатших за вмістом германію продуктів – германієвих концентратів [2]. Це може бути вилуговування сірчаною кислотою або вилучення германію методами екстракції та сорбції. Супутнє вилучення германію з вугілля, продуктів його перероблення і шахтних вод Донбасу нині цілком реальне, і може сприяти підвищенню рентабельності роботи вугільних підприємств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Васильева И. В. Актуальные вопросы мониторинга породных отвалов угольных шахт и охраны окружающей среды//Минеральные ресурсы Украины. – 2015. – № 3. – С. 39–45.
2. Войткевич Г. В., Кокін А. В., Мирошников А. Е., Прохоров В. Г. Справочник по геохимии. – Москва: Недра, 1990. – 480 с.
3. Геологические работы на угледобывающих предприятиях Украины. Инструкция. КД 12.06204-99.
4. Кулиненко О. Р., Пазухина Д. К., Бердюкова М. Д. Отчет по теме “Содержание германия в углях Львовско-Волынского бассейна.” – Днепропетровск: Днепропетровская экспедиция УкрНИГРИ, 1962. – 215 с.
5. Найдис Т. А. Отчет по теме: “Содержание германия в углях Западного Донбасса, Павлоградско-Межевской район.” – Днепропетровск: Днепропетровская экспедиция УкрНИГРИ, 1960. – 232 с.
6. Heiland C. A. Geophysical exploration. – Prentice-Hill, Inc., 1940. – 1013 p.
7. <https://uk.wikipedia.org/wiki/Германій>.
8. <http://www.infogeo.ru/metalls/worldprice/?vid=5>.
9. <http://www.mining-enc.ru/g/germanij/>.

REFERENCES

1. Vasileva I. V. Actual questions of monitoring red dams coal mines and environmental protection//Mineralni resursy Ukrainy. – 2015. – № 3. – P. 39–45. (In Russian).
2. Vojtkevich G. V., Kokin A. V., Miroshnikov A. E., Prohorov V. G. Handbook on geochemistry. – Moskva: Nedra, 1990. – 480 p. (In Russian).
3. Geological work at coal-mining enterprises of Ukraine. Instructions. CD 12.06204-99. (In Russian).
4. Kulinenko O., Pazuhina D., Berdyukova M. The report on “The content of germanium in coals of the Lviv-Volyn Basin.” – Dnepropetrovsk: UkrNIGRI, 1962. – 215 p. (In Russian).
5. Najdis T. Report on the topic: “The content of Germany in the coals of Western Donbass, Pavlograd-Mezhevsky district.” – Dnepropetrovsk: UkrNIGRI, 1960. – 232 p. (In Russian).
6. Heiland C. A. Geophysical exploration. – Prentice-Hill, Inc., 1940. – 1013 p.
7. <https://uk.wikipedia.org/wiki/Германій>.
8. <http://www.infogeo.ru/metalls/worldprice/?vid=5>.
9. <http://www.mining-enc.ru/g/germanij/>.

Рукопис отримано 11.06.2019.