

ЗАКОНОМІРНОСТІ РОЗПОДІЛУ КОНЦЕНТРАЦІЙ ГЕРМАНІЮ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ЯКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВУГІЛЛЯ ЛИСИЧАНСЬКОГО ГЕОЛОГО-ПРОМИСЛОВОГО РАЙОНУ

Постановка проблеми

Германій є сировиною багатощодоного використання в промисловості зі значними перспективами щодо розширення напрямів застосування. За даними Геологічної служби США, ціни на діоксид германію та сам метал зросли протягом останніх років на 35–50% за рахунок більшого використання в електроніці та сонячній енергетиці.

Вітчизняна мінерально-сировинна база характеризується значними запасами супутнього германію та перспективами їхнього освоєння під час комплексної розробки вугільних родовищ. За даними ДНВП «Геоінформ» [4], запаси германію в Україні підраховані на 217 шахтних полях та ділянках і оцінюються як великі з вмістом металу від 0,3–1,3 г/т (в антрацитах) до 3,8–9,2 г/т (в низькометаморфізованому вугіллі), при цьому вважається, що промислове значення має лише коксівне вугілля з середнім вмістом металу 4,5 г/т (рис. 1). Основним джерелом можливого отримання металу є вугілля, запаси та масштаби видобутку якого вважаються практично необмеженими. Визначення технологічних можливостей та економічної ефективності вилучення Ge під час розробки вугільних родовищ є необхідним для оцінки шляхів підвищення рентабельності їх комплексного відпрацювання.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Вивченням германію у вугіллі Донбасу та оцінкою можливостей його супутнього вилучення детально почали займатись у 1950–60-х роках. В опублікованих роботах Погребицького Є.О., Ломашова І.П., Лосева Б.І. [2, 5] висвітлено головні закономірності розподілу германію у вугіллі, його органічній та неорганічній частині, описані форми знаходження германію у вугіллі та геологічні умови його розподілу у вугільних родовищах. У цей же період трестами «Луганськгеологія», «Артемгеологія», «Дніпрогеологія» проведені роботи щодо обґрунтування доцільності промислового виробництва германію з енергетичного вугілля Донбасу, результати яких викладені в фондових матеріалах. У 1970–1980-х роках вивчення супутніх корисних копалин та компонентів вугільних родовищ було продовжено роботами Клера В.Р. та Саприкіна Ф.Я. [1, 3, 6], в яких викладені методичні рекомендації щодо проведення промислової оцінки вугільних родовищ на рідкісні елементи та особливостей підрахунку запасів.

Виокремлення невирішених раніше частин проблеми та формулювання цілей статті

У більшості опублікованих досліджень висвітлюються геолого-геохімічні особливості, генезис, закономірності розподілу германію в вугленосних товщах та шахтних водах Донбасу, охарактеризовані також методи пошуків, розвідки та оцінки запасів супутнього металу. Германій у вугіллі характеризується нерівномірністю розподілу, причому окремі

БУРЛУЦЬКИЙ М.

Управління державного геологічного контролю за веденням робіт з геологічного вивчення та використання надр, Державна служба геології та надр України, заступник начальника управління – начальник відділу контролю за використанням надр

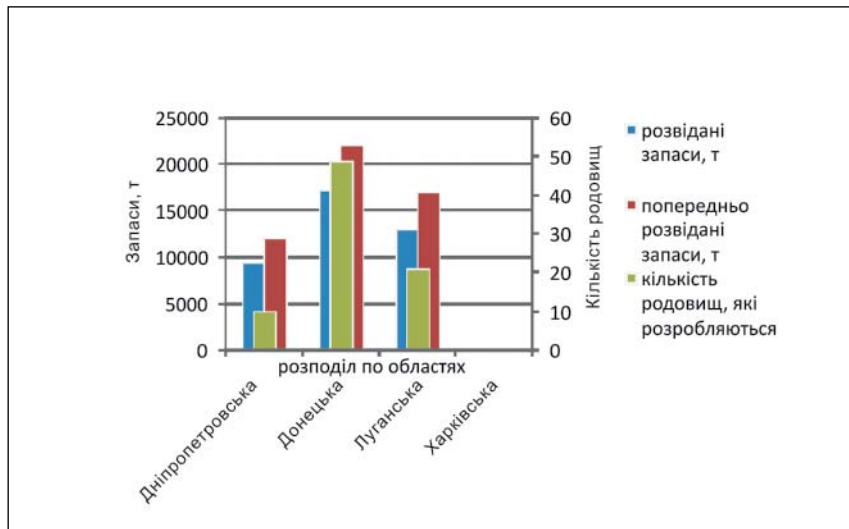


Рис. 1. Регіональний розподіл запасів германію в Україні (за даними ДНВП «Геоінформ»)

пласти і ділянки шахтних полів та родовища в цілому можуть значною мірою відрізнятись за середнім вмістом елементу.

Основними цілями даного дослідження є:

- визначення закономірностей розподілу германію у вугільних пластах Лисичанського геолого-промислового району з метою виявлення найперспективніших ділянок для супутнього вилучення металу;
- встановлення залежності концентрацій германію від якісних характеристик вугільних пластів за допомогою статистичного аналізу;
- визначення просторових закономірностей розподілу Ge та встановлення кореляційних залежностей його концентрацій з іншими характеристиками вугільних пластів за допомогою карт ізоліній, ізопакх та ін. графічних побудов.

Дані дослідження також необхідні для подальшої геолого-економічної оцінки запасів германію та коригування параметрів підрахунку запасів відповідно до встановлених закономірностей.

Виклад основного матеріалу

В межах Донбасу встановлено наступні залежності германієності вугілля [1, 3]:

- Серед різних стадій метаморфізму найбагатшим на германій, як правило, є найменш метаморфізоване вугілля.
- Вміст Ge залежить від потужності пластів і зростає в тонких пластах та зонах виклинювання, причому максимальні концентрації фіксуються в припокріпельних частинах.
- Дуже нерівномірно поширений германій у речовині вугілля. Більшість дослідників вважає, що він пов'язаний з органічною частиною вугілля.

Для геолого-промислових районів Донбасу розповсюдження концентрацій германію узгоджується

зі зміною ступеня метаморфізму вугілля, при цьому головними закономірностями зміни метаморфізму вугілля, які впливають на характер поширення рідкісних елементів є наступні [3]:

1. Ступінь метаморфізму збільшується від стратиграфічно більш високих горизонтів до більш низьких.
2. Збільшення ступеня метаморфізму в кожному пласті по площі відбувається поступово, паралельно збільшенню потужності вугленосної товщі з заходу на схід та від периферійної частини басейну до його центральної частини.

3. Ступінь метаморфізму в конкретному пласті (при однакових потужностях відкладів) збільшується по мірі їх занурення в сучасному структурному плані, тобто зі збільшенням сучасної глибини залягання по вертикалі.

Для досліджених шахтних полів Донбасу максимальні зафіксовані концентрації металу пов'язані з пластами низькометаморфізованого вугілля марок Д, ДГ, Г.

Середній вміст германію у вугіллі шахтних полів Донбасу становить 3 г/т, при цьому підвищені вмісти металу фіксуються в більшості західних і південно-західних геолого-промислових районів. Для Донецько-Макіївського, Петропавлівського, Красноармійського і Луганського вуглепромислових районів концентрація металу в середньому становить 4,7 г/т, максимальна – 63,4 г/т [7]. Зокрема, для шахтних полів Петропавлівського району вміст германію коливається в межах 8,6–9,1 г/т, Красноармійського району – 8,6–9,8 г/т, Донецько-Макіївського району – 7,0–7,3 г/т [7]. Такі значення значно нижчі від зафіксованих концентрацій металу у вугільних пластах K_8^H , K_8^B , I_2 , I_5 , I_6 в межах Лисичанського району. За даними [3], фоновим вмістом германію вважається значення 1,5 г/т, а локально високим – 50–3000 г/т. У досліджуваних пластах Лисичанського району вміст Ge значно перевищує фонові значення, і в багатьох випадках наближається до локально високих концентрацій або перевищує їх нижню межу. Особливо це стосується вугільних пластів $C_2^6 - I_2, I_5, I_6$.

Лисичанський геолого-промисловий район розташований у північно-західній частині Донбасу, в межах Луганської області. Вугленосні відклади району мають простягання з північного заходу на південний схід довжиною 37 км та шириною близько 8 км. У геологічній будові беруть участь відклади кам'яновугільної системи світи $C_2^3 - C_3^2$. Вугленосними є відклади середнього карбону, представлені товщами пісковиків, алеволітів, аргілітів, вапняків та вугілля, які перешаровуються між собою. Верхній

карбон вважається практично безвугільним. Вугільні пласти робочої потужності розподіляються наступним чином:

$$C_2^7 - m_3^H, m_3^B, m_6, m_6^2, m_6^3, m_8;$$

$$C_2^6 - l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_6, l_7, l_8, l_8^1;$$

$$C_2^5 - k_7, k_7^1, k_8^H, k_8^B;$$

$$C_2^4 - i_3;$$

$$C_2^3 - h_8.$$

Для даного дослідження вибрані пласти $k_8^H, k_8^B, l_2, l_5, l_6$, які є досить витриманими за потужністю і характеризуються простою та складною будовою. При складній будові пласти розділені прошарками пустих порід на дві (рідше – більше) вугільні пачки. За особливостями будови окремо виділяється пласт k_8 , який в межах Лисичанського району розділяється на окремі пласти k_8^H та k_8^B . На окремих ділянках вони зближуються і розглядаються як один складний пласт.

Вугілля досліджуваного району за вихідним матеріалом є гумусовими з незначними і рідкісними прошарками вугілля сапропелево-гумусового походження. Гумусове вугілля належить переважно до дюрено-кларенового типу, геліфікована речовина становить не менше 70% загального складу. За ступенем метаморфізму вугілля належить до марки Д і Г, при цьому газове вугілля виділяють лише в межах Матроського куполу в пластах світи C_2^5 і нижньої частини C_2^6 .

Для визначення залежностей вмісту германію у вугільних пластах було статистично опрацьовано дані по пластах $k_8^H, k_8^B, l_2, l_5, l_6$, які є досить витриманими за потужністю та характеризуються простою і складною будовою. Використовувались дані опробування вугільних пластів, які проводились під час розвідувальних та експлуатаційних робіт на шахтах Привольнянська, Новодружівська, ім. Мельникова, Капустіна, 60-річчя Радянської України. При цьому опрацьовувались дані по окремих пластах за їх простяганням та глибиною, оскільки в такому випадку виключається вплив стратиграфічного фактора. По пластах k_8^H, k_8^B було використано 75 результатів опробування із середньою глибиною відбору проб 850 м (мінімальна глибина – 387 м, максимальна – 1169 м), по пласту l_2^1 – 64 результати опробування із глибинами 822 м (1262 м та 162 м відповідно), по пласту l_5 – 124 проби з глибинами 751,8 м (1212 м та 177 м); по пласту l_6 – 131 проба з глибинами 681,4 м (1195,5 та 86,2 м). Визначались коефіцієнти парної кореляції для наступних кількісних і якісних характеристик вугільних пластів:

- Вміст германію, г/т.
- Глибина опробування, м.
- Потужність вугільного пласта, м.
- Зольність A^{daf} , %.
- Вихід летких речовин V^{daf} , %.
- Вміст сірки, %.
- Тип покрівлі та підшови пласта.

Найбільш ілюстративним для визначення залежностей між головними якісними і кількісними

характеристиками вугільних пластів і концентрацій германію в них виявився пласт k_8 , який є основним робочим пластом в досліджуваному районі та характеризується найбільшими значеннями потужності (від 0,17 до 1,98 м, в середньому – 1,1 м). У таблицях 1–3 наведено основні значимі коефіцієнти парної кореляції вмісту германію та якісних характеристик по вугільних пластах у межах Лисичанського геолого-промислового району. За результатами статистичного опрацювання даних зафіксовано дуже слабкий кореляційний зв'язок між концентрацією германію та показниками зольності вугілля, виходом летких речовин і типом покрівлі та підшови пласта (крім показників по пласту l_6 , де визначено слабкий зв'язок та пряму залежність між названими показниками з коефіцієнтами кореляції 0,266 та 0,253 відповідно). Визначена обернена залежність між вмістом металу та потужністю вугільних пластів і глибиною опробування найбільш чітко простежується по пластах l_2^1 та l_5 .

Окремо досліджувались залежності між концентраціями Ge і типами покрівлі та підшови вугільного пласта, які найчастіше представлені глинистими сланцями, піщаними сланцями, пісковиками та вапняками. Були визначені рангові коефіцієнти кореляції, які зафіксували лише дуже слабкий кореляційний зв'язок між концентраціями Ge та типом покрівлі вугільних пластів k_8 і l_2^1 . З метою визначення достовірних залежностей між показниками були побудовані графіки розподілу вмісту металу по типах покрівлі та підшови вугільного пласта (рис. 2). Для опрацьованих даних по пластах k_8^H, k_8^B , де було встановлено слабку залежність між даними характеристиками, зафіксовано, що максимальні абсолютні та середні значення вмісту металу (більше 40 г/т) спостерігаються у випадках, коли покрівля пласта представлена глинистими сланцями. У межах самих вугільних пластів також підтверджується залежність вмісту Ge від типів вугілля за відновністю: у випадках, коли пласт складений різними типами вугілля за відновністю, максимальні концентрації германію приурочені до тієї частини пласта, яка складена менш відновним вугіллям.

Окремо для вивчення просторових залежностей між головними якісними і кількісними характеристиками вугільних пластів і концентрацій германію були побудовані карти ізоліній та ізопахіт для згаданих пластів у межах району (рис. 3–6). Розподіл германію за простяганням чітко узгоджується зі зміною ступеня метаморфізму вугілля, і фіксується зростання вмісту металу зі сходу на захід та в північному напрямі, тобто зі зменшенням ступеня метаморфізму. Найбільш збагаченими металом виявляються найменш потужні пласти, а особливо їхні припокрівельні частини.

У межах Лисичанського геолого-промислового району досить чітко простежуються загальні закономірності розподілу германію, пов'язані зі ступенем метаморфізму вугілля, потужністю пластів та глибиною їх залягання.

Таблиця 1. Значимі коефіцієнти парної кореляції вмісту германію та якісних характеристик по пласту k_8

Показники	Вміст Ge, г/т	Глибина опробування, м	Потужність пласта, м	Зольність, %	Вихід легких компонентів, %	Вміст S, %	Тип покрівлі пласта
Вміст Ge, г/т		-0.225	-0.200			-0.201	-0.152
Глибина опробування, м	-0.225		0.178	0.227	-0.270	0.277	
Потужність, м	-0.200	0.178		0.474	-0.493	0.479	
Зольність, %	-0.134	0.227	0.474			0.526	
Вихід легких компонентів, %		-0.270	-0.493			-0.121	-0.129
Вміст S, %	-0.201	0.277	0.479	0.526	-0.121		0.527
Тип покрівлі пласта	-0.152		-0.120	0.103	-0.129	0.527	

Таблиця 2. Значимі коефіцієнти парної кореляції вмісту германію та якісних характеристик по пласту l_6

Показники	Вміст Ge, г/т	Глибина опробування, м	Потужність пласта, м	Зольність, %	Вихід легких компонентів, %	Вміст S, %	Тип покрівлі пласта
Вміст Ge, г/т		-0.229	-0.356	0.266	0.253	0.399	0.198
Глибина опробування, м	-0.229		0.483				
Потужність, м	-0.356	0.483					
Зольність, %	0.266				0.448	0.501	
Вихід легких компонентів, %	0.253			0.448		0.664	
Вміст S, %	0.399			0.501	0.664		

Таблиця 3. Значимі коефіцієнти парної кореляції вмісту германію та потужності пластів і глибини опробування

Показники	Вміст Ge, г/т	Глибина опробування, м	Потужність пласта, м
	k_8		
Вміст Ge, г/т		-0.225	-0.200
Глибина опробування, м	-0.225		0.178
Потужність, м	-0.200	0.178	
l_2^1			
Вміст Ge, г/т		-0.245	-0.433
Глибина опробування, м	-0.245		0.328
Потужність, м	0.328	-0.433	
l_5			
Вміст Ge, г/т		-0.261	-0.438
Глибина опробування, м	-0.261		0.386
Потужність, м	-0.438	0.386	
l_6			
Вміст Ge, г/т		-0.229	-0.356
Глибина опробування, м	-0.229		0.483
Потужність, м	-0.356	0.483	

В даному випадку головними критеріями і показниками впливу метаморфізму вугілля на вміст супутнього германію були: вихід летких речовин, глибина залягання і опробування пластів і їхні якісні просторові зміни з заходу на схід та від периферійної частини басейну до його центральної частини. За результатами досліджень розподіл германію у вугільних пластах характеризується оберненою залежністю від зміни ступеня метаморфізму вугілля, що узгоджується з загальними положеннями теорії метаморфізму вугілля, а також пояснюється хімічними властивостями даного металу і температурним режимом його накопичення. Для досліджуваного району характерне поширення малометаморфізованого вугілля марки Д та групи Гб, що спричиняє неможливість визначення більш чіткої залежності концентрацій германію від марочного складу вугілля.

Висновки

За результатами проведеного кореляційного аналізу і графічних побудов встановлені наступні залежності германієності ву-

гільних пластів у межах Лисичанського геолого-промислового району:

– Вміст Ge залежить від потужності пластів і зростає в тонких пластах та зонах виклинювання, при цьому максимальні абсолютні значення концентрацій металу приурочені до малопотужних ділянок вугільних пластів у північно-західній частині району.

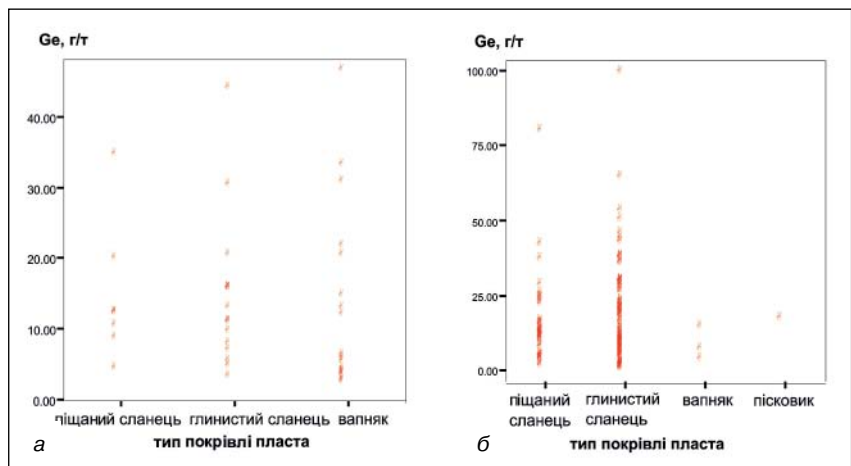


Рис. 2. Розподіл концентрацій германію в пластах k_8^H , k_8^B (а) та l_5 (б) у залежності від типу покрівлі

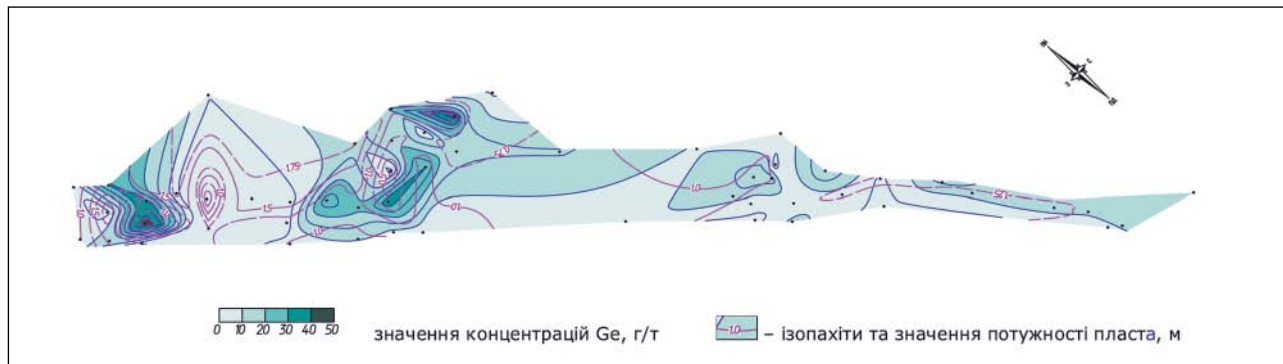


Рис 3. Розподіл і залежності концентрацій германію та потужності пластів k_8^H , k_8 у межах Лисичанського району

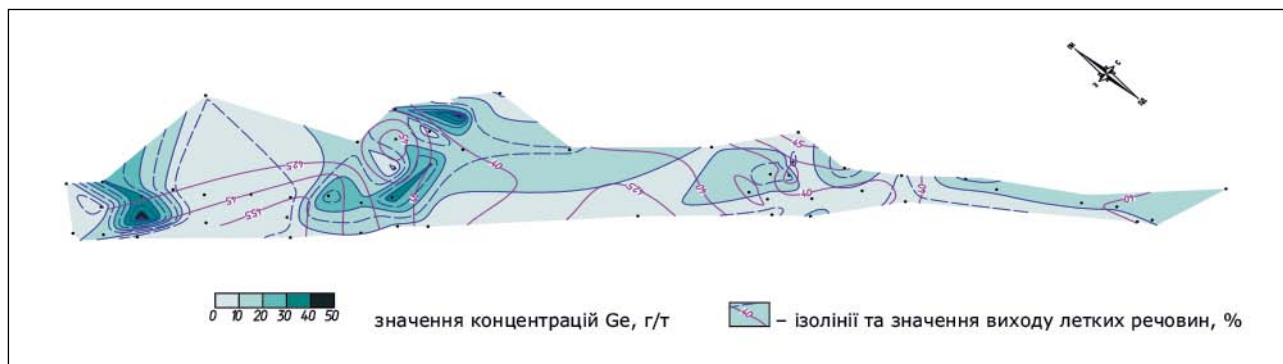


Рис 4. Розподіл і залежності концентрацій германію та виходу летких речовин в пластах k_8^H , k_8 у межах Лисичанського району

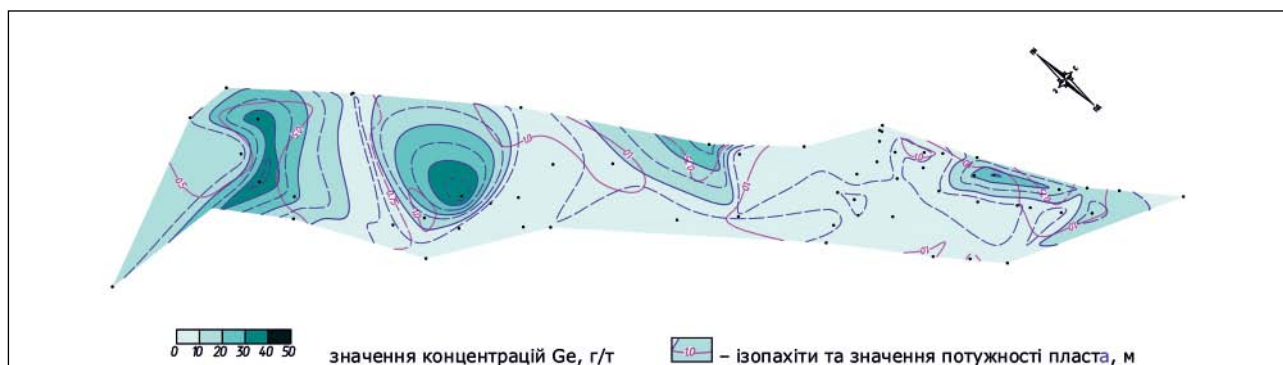


Рис 5. Розподіл і залежності концентрацій германію та потужності по пласту l_2^1 у межах Лисичанського району

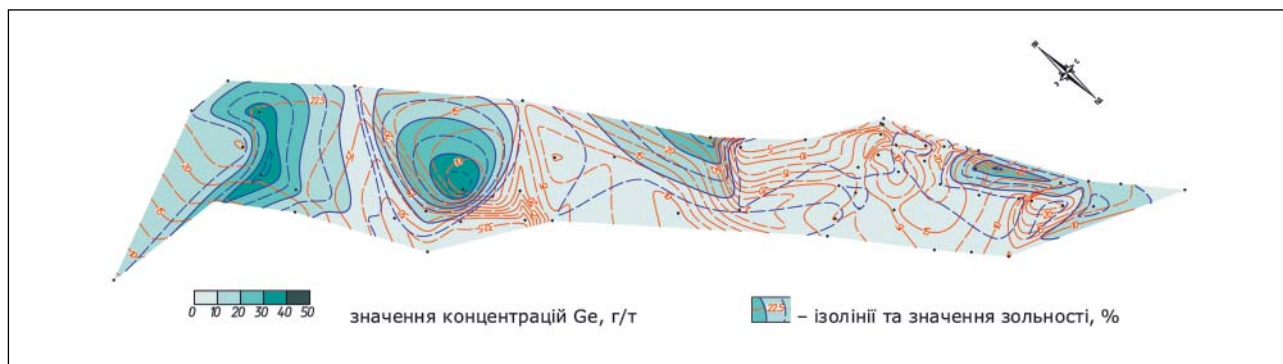


Рис 6. Розподіл і залежності концентрацій германію та зольності вугілля по пласту l_2^1 у межах Лисичанського району

– Встановлена обернена залежність між вмістом металу та глибиною опробування, яка найбільш чітко простежується по пластах I_2^1 та I_5 , при цьому встановлена систематична зміна концентрацій металу в стратиграфічному розрізі вугленосних відкладів. Так, середні вмісти у найменш глибоко залягаючому пласті I_6 значно вищі ніж у більш глибоких пластах I_2^1 та k_8 .

Для Лисичанського геолого-промислового району характерні високі порівняно з іншими районами Донбасу середні вмісти германію (більше 14 г/т) по пластах k_8^H , k_8^B , I_2^1 , I_5 , I_6 . Розподіл германію за про-

стяганням чітко узгоджується зі зміною ступеня метаморфізму вугілля. Зростання вмісту металу фіксується зі сходу на захід та в північному напрямі, тобто зі зменшенням ступеня метаморфізму. Найбільш збагаченими металом виявляються найменш потужні пласти, а особливо їх припокрівельні частини. Визначені закономірності розподілу германію в межах Лисичанського району доцільно і необхідно враховувати при підрахунку запасів супутнього металу в вугіллі та проведенні комплексної геолого-економічної оцінки вугільних родовищ району.

1. Клер В.Р. Изучение сопутствующих полезных ископаемых при разведке угольных месторождений. – М.: Недра, 1979. – 272 с.

2. Ломашов И.П., Лосев Б.И. Германий в ископаемых углях. – М.: Изд-во Академии наук, 1962. – 165 с.

3. Металлогения и геохимия угленосных и сланцесодержащих толщ СССР. Закономерности концентрации элементов и методы их изучения / В.Р. Клер, В.Ф. Ненахова, Ф.Я. Сапрыкин и др. – М.: Наука, 1988. – 256 с.

4. Мінеральні ресурси України та світу. – К.: ДНВП Геоінформ України, 2009. – 602 с.

5. Погребницкий Е.О. О некоторых закономерностях распределения германия в углях Донецкого бассейна. – М.: Недра, 1960. – 362 с.

6. Сапрыкин Ф.Я., Богданов В.В. Методическое руководство по изучению и оценке месторождений угля на германий и другие редкие элементы. – М.: Недра, 1967. – 312 с.

7. Шевченко О.А., Проскурня Ю.А. Германий в углях и шахтных водах Донбасса // Уголь Украины. – 2001. – № 11–12.

Определены главные закономерности распределения германия в угольных пластах Лисичанского геолого-промышленного района с целью выявления наиболее перспективных участков для сопутствующего извлечения металла. Установлено, что распределение германия по простиранию пластов согласуется с изменениями степени метаморфизма углей, и увеличение содержания металла фиксируется в северо-западном направлении. Определено, что наиболее обогащенными германием являются наименее мощные участки пластов.

It's defined the main regularities of germanium distribution in coal seams of Lisichansk geological and industrial area to identify the prospective areas for the extraction of associated metal. It is established that the distribution of germanium along the strike of seams is consistent with the trend of changes in the degree of metamorphism of coal and it's recorded an increase in metal content to the north-west. It's defined that the least powerful sections of seams are the most enriched in germanium.

Ключові слова: розподіл германію, вугілля, супутнє вилучення, Лисичанський геолого-промисловий район.

Ключевые слова: распределение германия, уголь, сопутствующее извлечение, Лисичанский геолого-промышленный район.

Keywords: distribution of germanium, coal, co-extraction, Lisichansk geological and industrial area.