

І.М. Скопиченко, С.М. Кузнецов

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ПУЛЬСУЮЧОГО ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ЗОНДУВАННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПОРУШЕНИХ ЗОН У ЛІТОСФЕРІ

Дослідження проведено методом пульсуючого електромагнітного зондування (ПЕМЗ) на визначення місць накопичення вугільного метану на одній із ділянок вугільного басейну San Juan (США) з використанням станції «Фенікс-1». За результатами досліджень площі зазначеного вугільного басейну отримано критерії виділення площинних аномалій, перспективних на видобуток газу з вугільних пластів, що знаходяться на невеликій глибині, а також шляхів міграції газу по ослаблених зонах. Джерело вуглеводнів знаходиться значно глибше (глибини залягання 1400 – 1700 м). Метод ПЕМЗ дозволяє локалізувати глибинне джерело та вертикальні зони, якими відбувається міграція газу.

Ключові слова: генерація, міграція, шахтний метан, метод пульсуючого електромагнітного зондування

Вступ

У надрах освоєваних і перспективних вугільних басейнів зосереджена значна частина світових ресурсів як вугілля, так і метану, масштаби ресурсів яких можна порівняти з ресурсами газу традиційних родовищ світу. З метою раціонального комплексного використання вугільних покладів доцільно розглядати їх як ділянки, придатні для видобутку як вугілля, так і вуглеводневої сировини. За різними оцінками, світові ресурси метану у вугільних басейнах світу становлять 93,4 – 285,2 трлн. м³.

У світі накопичено значний досвід розробки та промислового видобутку метану на вуглегазових родовищах США, Австралії, Канади, Китаю, Індії, Польщі, Чехії, Нової Зеландії, Англії, Німеччини. Незважаючи на значний потенціал, більшість геофізичних, сейсмічних та атмо-геохімічних досліджень, проведених для визначення ділянок з колекторськими властивостями вуглепородних масивів, не дають повної картини у зв'язку з незначною потужністю вугільних пластів та порід, що вміщують їх. Більшість порушень вуглепородних масивів, які представлені дрібноамплітудною тектонікою, некоректно відображаються в результатах вищезгаданих досліджень.

Враховуючи особливості будови вуглепородних масивів, пропонуємо випробування проводити методом точкового електромагнітного зондування для встановлення глибини розташування зон з колекторськими властивостями [2].

Матеріали та методи дослідження

Матеріали: Дослідження проведено на ділянці вугільного басейну San Juan (США) із використанням станції «Фенікс-1» (авторська розробка, Україна, Київ). Метод дослідження: метод точкового електромагнітного зондування (ЕМЗ) або його модернізований аналог. Фізичні основи методу докладно викладені у роботах [1, 4, 5].

Важливо, що геологічне середовище є неврівноваженим нелінійним неоднорідним середовищем, в якому багато фізичних процесів відбувається інакше, ніж у традиційно суцільних середовищах. Сьогодні лише результати можуть показувати нові можливості та перспективи у вивченні геологічного середовища, підтверджуючи чи спростовуючи спроби теоретичних обґрунтувань.

На думку авторів, заснований на результатах одночасних польових дослідженнях природного (ЕМПЗ) та наведеного (НЕМПЗ) електромагнітних полів Землі, з використанням нових станцій серії «Фенікс-1» та «Фенікс-10» у 2008-2011 рр., ЄМПЗ з глибиною не згасає. Наведене електромагнітне поле (НЕМПЗ) відображає локальні особливості природного поля в інтервалах глибин, де напруженість НЕМПЗ вища за напруженість ЄМПЗ, що визначається параметрами Генераторно-приймальних установок. Інтервали глибин із підвищеними рівнями сигналів НЕМПЗ відповідають інтервалам глибин із зниженим рівнем сигналів ЄМПЗ. Наведення ЄМПЗ є штучним фільтром природного електромагнітного поля Землі. Встановлено тимчасову мінливість ЄМПЗ, пов'язану з постійним вирівнюванням потенціалів електричного та магнітного полів як основи життя на Землі.

Метод успішно застосовується для пошуків та розвідки родовищ вуглеводнів, алмазів, руд, підземних вод тощо, а також при вивченні напруженого стану середовища [4, 5, 7].

Виклад основного матеріалу

США володіють найбільшими у світі геологічними запасами вугілля всіх типів, при цьому кам'яне (бітумінозне) вугілля та антрацити зосереджені у вугільних басейнах східної та центральної частини країни: Аппалачському (штати Пенсільванія, Огайо, Західна Вірджинія, Теннессі, Алабама, східна частина Кентуккі), Іллінойському (штати Іллінойс, західна частина Кентуккі, Індіана), Внутрішньому Західному (штати Айова, Міссурі, Оклахома, Канзас, Небраска) та Пенсільванському (західна частина штату Пенсільванія, антрацити).

Басейни з бурим (лігніти та суббітумінозним) вугіллям розташовані в західній частині США (Північна та Південна Дакота, Вайомінг, Монтана, Юта, Колорадо, Арізона, Нью-Мексико), а також на півдні країни (штати Техас, Арканзас, Міссісіпі, Луїзіана, Алабама). Вугільні пласти в США

характеризуються в основному пологим заляганням (середня потужність - близько 1 м) на відносно невеликій глибині, поширеністю на великих площах, стійкістю вміщуючих порід, помірним вмістом води та газу, а також великою різноманітністю типів вугілля та загалом високою їх якістю [2].

Результати проведених досліджень

Дослідження проведено на визначення місць накопичення вугільного метану та шляхів його міграції на одній із ділянок вугільного басейну San Juan (США) з використанням станції «Фенікс-1» (Україна, Київ).

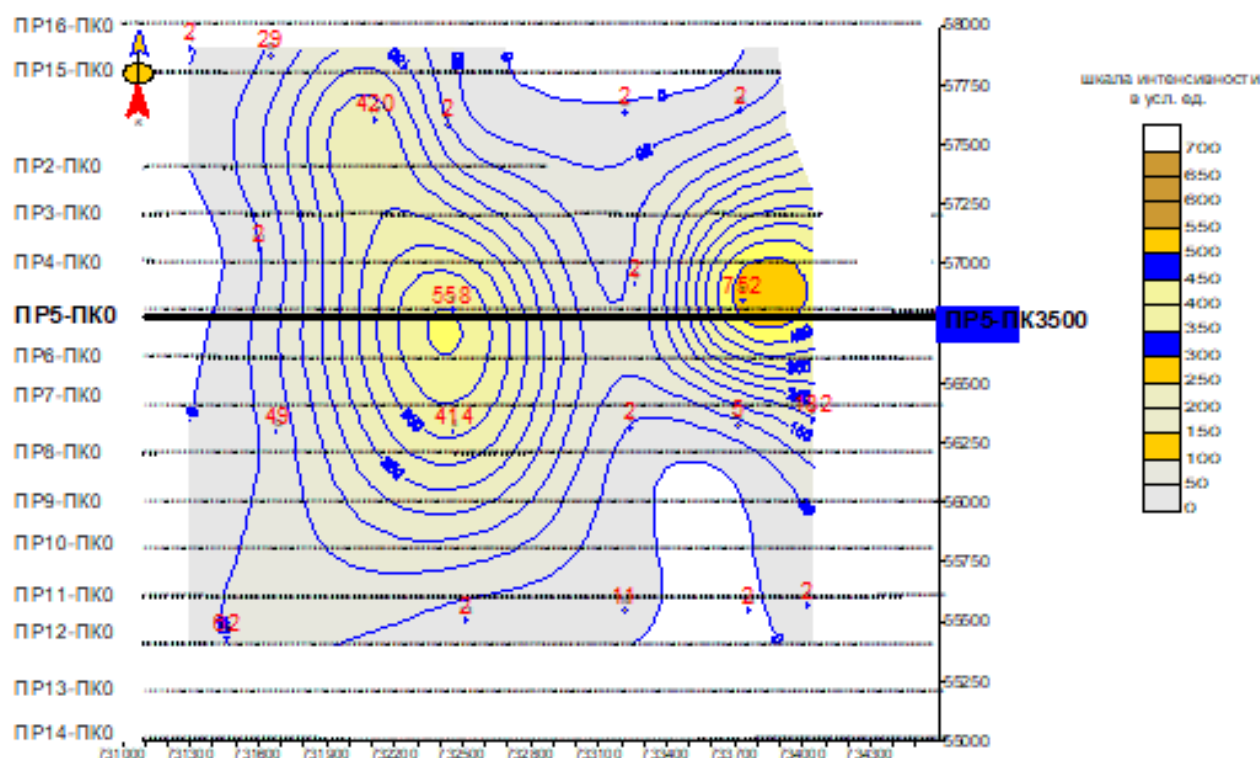


Рис. 1. Карта розподілу дебіту газу у свердловинах одного з вугільних родовищ басейну San Juan (США)

На рис. 1 наведена карта розподілу дебіту газу в свердловинах. При побудові карти використано дані випробувань свердловин (середній дебіт газу на добу в умовних одиницях). Поряд із свердловиною червоними цифрами підписано значення дебіту газу. У центральній частині площі відзначаються дві аномалії підвищеного дебіту газу (західна – свердловини №3, №5, №17 та східна – свердловини №2, №7). Значення дебіту газу в цих свердловинах у 100 разів вище та більше, ніж дебіти свердловин у крайових частинах площі, яка досліджувалася. На вертикальному розрізі (рис. 2) показано глибинне положення шару вугілля (чорна лінія). Над розрізом показано профільне положення свердловин та їх номери, червоними цифрами показано значення дебіту газу в

свердловині. На профілі знаходяться свердловини з високим дебітом газу (свердловини № 3 та № 7 і свердловина № 9). При інтерпретації використані нормовані значення електромагнітних параметрів, пов'язаних із діелектричною проникністю порід.

На вертикальному розрізі на інтервалі глибин 200-500 м виділено три аномалії знижених значень (жовтий колір заливки). Аномалії №1, №2 збігаються з ділянками свердловин №3, №7. У межах свердловини №9 подібних аномалій немає. Породи з високими значеннями діелектричної проникності (у тому числі обводнені) позначені зеленим кольором. Ймовірно, ці аномалії пов'язані із зонами підвищеного вмісту газу, оскільки значення їхньої діелектричної проникності мінімальні (2-3 од.) по відношенню до значень діелектричної проникності інших порід. Максимальну діелектричну проникність має вода (80-85 од.).

Розподіл електромагнітного параметра $\text{sum}(\text{modnfi})$. За цим параметром оцінюються електромагнітні властивості пласта вугілля, що містить газ і відповідне положенню місць максимального зосередження газу в пласті вугілля потужністю 10 м. У центральній частині площі виділяються дві зони знижених значень електромагнітного параметра (червоний та жовтий). Ці зони мають південно-східне простягання. На думку авторів, ці аномалії пов'язані із пластами вугілля, заповненими газом. Однак наявність свердловини № 9 (не працює) говорить про те, що цієї ознаки недостатньо для отримання постійного високого надходження газу зі свердловини.

На рис. 2 наведена карта просторового розподілу електромагнітного параметра $1-3\text{ndfi}$ у цьому ж шарі вугілля. У межах площі досліджень виділяються дві лінійні зони підвищених значень електромагнітного параметра. Зони мають північно-західне простягання. Високодебітні свердловини №5, №3, №7 знаходяться в межах західної зони. Високодебітні свердловини №7 та №2 знаходяться в межах східної зони. Однак у межах цих зон розташовані свердловини з низьким дебітом (св. №13, №18). Підбиваючи підсумки, представлені на рис. 3-2 та рис. 4-2 можна зробити такі висновки:

1. Свердловини з високим дебітом газу знаходяться в межах частини площі знижених значень електромагнітного параметра $\text{sum}(\text{modnfi})$, які збігаються з площами лінійних зон підвищених значень електромагнітного параметра $1-3\text{ndfi}$. Ці свердловини перебувають у крайових частинах глибинних аномалій знижених значень параметра $\text{sum}(\text{modnfi})$. В інших випадках свердловини характеризуються низьким дебітом газу.

2. Глибинні аномалії знижених значень параметра $\text{sum}(\text{modnfi})$ (глибини 1400-1700 м) є джерелами газу пластів вугілля. У тому випадку, коли пласти вугілля з хорошими колекторськими властивостями знаходяться над глибинним

джерелом вуглеводнів або в межах вертикальних зон підвищеної проникності досягається максимальний дебіт свердловин.

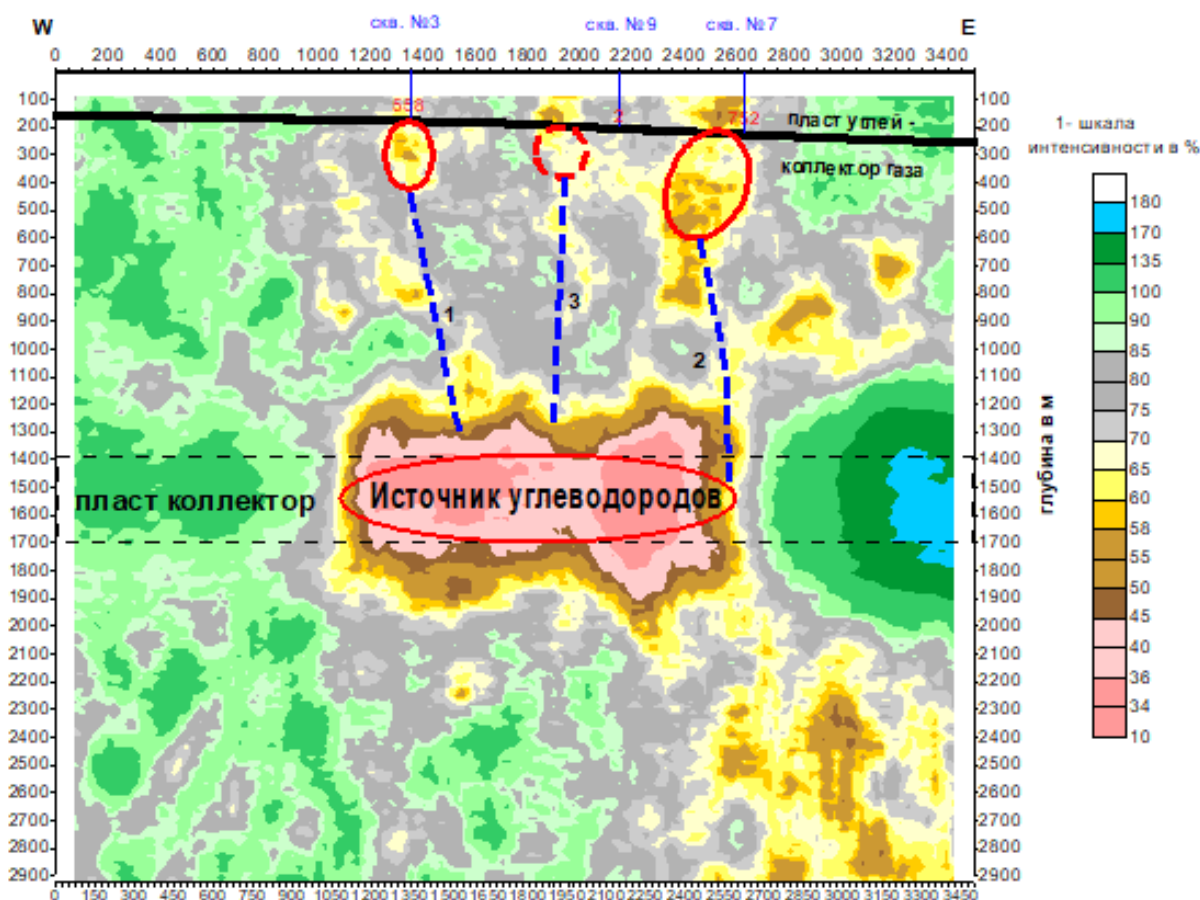


Рис. 2. Вертикальний розріз за профілем св. 3, 9, 7.

Висновки

Слід зазначити, що коректне вирішення подібних геологічних завдань (виявлення перспективних для видобутку газу ділянок на площах вугільних родовищ) можливе лише із застосуванням високоінформативних геоінформаційних систем 5D, де враховують речовинний склад колектора, глибину, структурно-тектонічні особливості. Жодний з геофізичних методів, включаючи сейморозвідку, таких можливостей на сьогоднішній день не має.

За результатами досліджень електророзвідки ПЕМЗ площі вугільного басейну San Juan отримано критерії виділення площинних аномалій, які є перспективними на видобуток газу з вугільних пластів, що знаходяться на невеликій глибині. Джерело вуглеводнів знаходиться значно глибше (глибини залягання 1400 – 1700 м). Міграція газу та його концентрація в проміжному колекторі, яким є вугільний пласт і породи, що вміщують його, відбувається, в основному, вертикальними зонами. Метод ПЕМЗ дозволяє локалізувати глибинне джерело та вертикальні зони, якими відбувається міграція газу.

Вказана технологія може бути використана при вирішенні питань дегазації вуглепородного масиву разом із бурінням свердловин.

Метод також доцільно використовувати перед початком робіт з дегазації вугільних пластів та порід вугільних басейнів, що їх вміщують. І тут виділяються локальні електромагнітні аномалії (вертикальні, пластові), визначається система тектонічних порушень площі досліджень. Подальше буріння свердловин встановлює геологічну природу цих аномалій та визначає шляхи найбільш ефективного розташування свердловин для дегазації вуглепородних масивів.

Для підвищення ефективності прогнозування поширення колекторів у вуглепородному масиві діючих шахт є доцільним використання методу ПЕМЗ, який дозволяє визначити глибини та типи аномалій для пошуків зон скупчення метану. За наявності геологічної інформації щодо газових проявів наш метод може бути використаний для уточнення структури газових проявів у межах сучасних вугледобувних виробок.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Скопиченко І.М., Фінчук В.В. Визначення зон накопичення газу в межах вугільних басейнів методом точкового електромагнітного зондування. *Тектоніка і стратиграфія*. 2015. Вип. 42. С. 106-108.
2. Скопиченко І.М., Фінчук В.В., Вергельська Н.В. Визначення зон скупчень газу-метану у вуглепородних масивах методом точкового електромагнітного зондування (на прикладі вугільного басейну San Juan, США). *Геофізичний журнал*. 2018. № 3. Т. 40. С. 192-199.
3. Фінчук В.В., Михайлюк С.Ф., Скопиченко І.М. Результати точкового електромагнітного зондування на Наріжнрянській та Хортицькій площах. *Нафта і газ України Матеріали 8-ї міжнародної науково-практичної конференції «Нафта і газ України - 2004» Судак, 29 вересня -1 жовтня 2004 р.* Т. 1. С. 367-369.
4. Финчук В.В., Скопиченко И.М. Метод точечного электромагнитного зондирования и его возможности. В сб. *«Экология и природопользование»*. 2003. Вип. 6. Днепропетровск. С. 169-172.
5. Финчук В.В., Скопиченко И.М., Новиков А.В. Метод точечного электромагнитного зондирования. Теория и способы обработки. В сб. *«Экология и природопользование»*. 2003. Вип. 6. Днепропетровск. С. 173 -178.
6. Фінчук В.В., Скопиченко І.М. Результати прогнозування скупчень вуглеводнів на Наріжнрянській площі ДДЗ за даними електророзвідувальних робіт методом точкових електромагнітних зондувань. *Геологічний журнал*. 2011. № 3. С. 131 - 138.
7. Шляховский В.А., Финчук В.В., Секачев П.Н. Энергетические зоны земли. Научно-производственная фирма «ЛАНЕФ», г. Казань, Россия. Международная геологическая конференция г. Казань, 13-16 ноября 2007 г. Издательство Казанского государственного университета. 2007. Том 2. С. 254-258

8. Adapted from USGS and AK Dept. of Natural Resources
<http://www.geocraft.com/WVFossils/Energy.html>

REFERENCES

1. Skopychenko I., Finchuk V., 2015. Determination of gas accumulative areas within the coal basins by transient electromagnetic sounding method. *Tectonics and Stratigraphy* (42), P. 106-108 – in Ukrainian
2. Skopichenko I.M., Finchuk V.V., Vergelskaya N.V. 2018. Determination of gas-methane accumulation zones in coal-rock massifs by point electromagnetic sounding (on the example of the San Juan coal basin, USA). *Geophysical Journal*, No. 3. V. 40. P. 192-199. – in Ukrainian
3. Finchuk V, Mikhailuk S, Skopychenko I. 2004. The results of transient electromagnetic sounding method on Narizhnyanska and Khortytska areas. *Oil and Gas of Ukraine Materials of the 8th International Scientific and Practical Conference "Oil and Gas of Ukraine - 2004"* Sudak, September 29-October 1, vol.1, p.367-369 – in Ukrainian
4. Finchuk V.V., Skopychenko I.M. 2003. The method of point electromagnetic sounding and its possibilities. On Sat. "Ecology and nature management". Is. 6. Dnepropetrovsk, p. 169 - 172. – in Russian
5. Finchuk V.V., Skopychenko I.M., Novikov A.V. 2003. Method of point electromagnetic sounding. Theory and methods of processing. On Sat. "Ecology and nature management". Is. 6. Dnepropetrovsk, p. 173-178. – in Russian
6. Finchuk V., Skopychenko I. 2011. Results of the prediction of hydrocarbon accumulations at the Narizhnyaya square of the Dnieper-Donets depression on the basis of electric exploratory work by the method of transient electromagnetic sounding. *Geological Journal*, No. 3. - P. 131 – 138 – in Russian
7. Shlyakhovsky V.A., Finchuk V.V., Sekachev P.N. 2007. Energy zones of the earth. Research and production company "LANEF", Kazan, Russia. *International Geological Conference Kazan, November 13-16, Kazan State University Publishing House. 2007. Vol. 2. p. 254-258.* – in Russian
9. Adapted from USGS and AK Dept. of Natural Resources
<http://www.geocraft.com/WVFossils/Energy.html>

I. Skopychenko, S. Kuznetsov

USING THE METHOD OF PULSATING ELECTROMAGNETIC SOUNDING TO DETERMINE DISTURBED ZONES IN THE LITHOSPHERE

The study was carried out using the method of pulsed electromagnetic sounding (PEMZ) to determine the accumulation of coal methane in one of the sections of the coal basin San Juan (USA) using the Phoenix-1 station. Based on the results of studies

of the area of the indicated coal basin, criteria for the separation of planar anomalies promising for gas production from coal seams located at shallow depths, as well as gas migration paths through weakened zones, were obtained. The hydrocarbon source is much deeper (1400 - 1700 m in depth). The FEMZ method allows you to localize the deep source and vertical zones along which gas migration occurs.

Keywords: coal mine methane, generation, migration, method PEMZ.

И.М. Скопиченко, С.Н. Кузнецов

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ПУЛЬСИРУЮЩЕГО
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
НАРУШЕННЫХ ЗОН В ЛИТОСФЕРЕ**

Исследование проведено методом пульсирующего электромагнитного зондирования (ПЭМЗ) на определение мест скопления угольного метана на одном из участков угольного бассейна San Juan (США) с использованием станции «Феникс-1». По результатам исследований площади указанного угольного бассейна получены критерии выделения плоскостных аномалий, перспективных на добычу газа из угольных пластов, находящихся на небольшой глубине, а также путей миграции газа по ослабленным зонам. Источник углеводородов находится значительно глубже (глубины залегания 1400 - 1700 м). Метод ПЭМЗ позволяет локализовать глубинный источник и вертикальные зоны, по которым происходит миграция газа.

Ключевые слова: шахтный метан, генерация, миграция, метод ПЭМЗ.

Державна установа «Науковий центр гірничої геології, геоecології та розвитку інфраструктури НАН України» м. Київ, Україна

Ігор Скопиченко

кандидат геоло-мінералогічних наук

e-mail: i.skopychenko@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-0333-2698>

Сергій Кузнецов

Стаття надійшла: 29.09.2021