

## Визначення зон скупчення газу метану у вуглепородних масивах методом точкового електромагнітного зондування (на прикладі вугільного басейну San Juan, США)

*І.М. Скопиченко<sup>1</sup>, В.В. Фінчук<sup>2</sup>, Н.В. Вергельська<sup>1</sup>, 2018*

<sup>1</sup>Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна

<sup>2</sup>Компанія "TRANSCOMPLEX", Київ, Україна

Надійшла 19 березня 2018 р.

По результатам исследований методом точечного электромагнитного зондирования (ТЭМЗ) площади угольного бассейна San Juan определены критерии выделения площадных аномалий, перспективных на добычу газа из угольных пластов, которые залегают на небольшой глубине. Источник углеводородов находится значительно глубже (1400—1700 м). Газ мигрирует и скапливается в промежуточном коллекторе (угольный пласт и вмещающие его породы), в основном, по вертикальным зонам. Данный метод позволяет локализовать глубинный источник и вертикальные зоны, по которым газ мигрирует. Указанная технология может быть использована при решении вопросов дегазации углепородного массива совместно с бурением скважин. Метод также целесообразно применять перед началом работ по дегазации угольных пластов и вмещающих пород угольных бассейнов. В этом случае выделяются локальные электромагнитные аномалии (вертикальные, пластовые), определяется система тектонических нарушений площади исследований. При последующем бурении скважин устанавливается геологическая природа выявленных аномалий и определяются пути наиболее эффективного расположения скважин для дегазации углепородных массивов. С целью повышения эффективности прогнозирования распространения коллекторов в углепородном массиве действующих шахт целесообразно использование метода ТЭМЗ, с помощью которого можно определить глубины и типы аномалий для поисков зон скопления метана.

**Ключевые слова:** газ угольных пластов, пути миграции газа, метод ТЭМЗ.

**Вступ.** У надрах освоюваних і перспективних вугільних басейнів зосереджена значна частина світових ресурсів не тільки вугілля, а й метану, масштаби ресурсів якого співрозмірні з ресурсами газу традиційних родовищ світу. З метою раціонального комплексного використання вугільних покладів доцільно розглядати їх як ділянки, придатні для видобутку не тільки вугільної, а й вуглеводневої сировини. За різними оцінками, світові ресурси метану у вугільних басейнах ста-

новлять 93,4—285,2 трлн м<sup>3</sup> (<http://www.geocraft.com/WVFossils/Energy.html>).

Нагромаджений значний досвід розробки та промислового видобутку метану на вуглегазових родовищах США, Австралії, Канади, Китаю, Індії, Польщі, Чехії, Нової Зеландії, Англії, Німеччини. Незважаючи на значний доробок, більшість геофізичних, сейсмічних та атмогеохімічних досліджень, проведених для визначення ділянок з колекторськими властивостями вуглепородних масивів, не дають пов-

ної картини через незначну потужність вугільних пластів і вмісних порід. Більшість порушень вуглепородних масивів, які представлені дрібноамплітудною тектонікою, некоректно відображені у результатах вищезазначених досліджень.

З огляду на особливості будови вуглепородних масивів пропонуємо опробувати їх за допомогою методу точкового електромагнітного зондування (ТЕМЗ) для встановлення глибини розміщення зон із колекторськими властивостями.

**Матеріали та методи дослідження.** Досліджено ділянку вугільного басейну San Juan (США) з використанням станції "Фенікс-1" (авторська розробка, Україна, Київ).

Метод ТЕМЗ є модифікацією методу перехідних процесів з розширеними можливостями системи збудження — реєстрації. Фізичні основи методу детально викладено у публікаціях [Фінчук, Скопиченко, 2003; Фінчук и др., 2003; Фінчук та ін., 2004; Фінчук, Скопиченко, 2011; Скопиченко, Фінчук, 2015 та ін.].

Важливо, що геологічне середовище є неврівноваженим, нелінійним і неоднорідним. Багато фізичних процесів у ньому відбуваються інакше, ніж у традиційно суцільних середовищах. На сьогодні нові результати, що отримані з використанням методу ТЕМЗ, відображають його можливості і перспективи при вивченні геологічного середовища, підтверджуючи або спростовуючи спроби теоретичних обґрунтувань.

На думку авторів, що спирається на результати одночасних польових досліджень природного (ЕМПЗ) і наведеного (НЕМПЗ) електромагнітних полів Землі, з використанням нових станцій серії "Фенікс-1" і "Фенікс-10" у 2008—2011 рр., природне електромагнітне поле з глибиною не згасає. Наведене електромагнітне поле відображає локальні особливості природного поля в інтервалах глибин, де напруженість НЕМПЗ вища за напруженість ЕМПЗ, що визначається параметрами генераторно-приймальних установок. Інтервали глибин з підвищеними рівнями сигналів НЕМПЗ відповідають інтервалам глибин зі зниже-

ними рівнями сигналів ЕМПЗ. Наведення ЕМПЗ є штучним фільтром природного електромагнітного поля. Встановлено часову мінливість ЕМПЗ, пов'язану з постійним вирівнюванням потенціалів електричного і магнітного полів, як основою життя Землі.

Метод ТЕМЗ успішно застосовують для пошуків і розвідки родовищ вуглеводнів, алмазів, руд, підземних вод тощо, а також при вивченні напруженого стану середовища [Фінчук, Скопиченко, 2003; Фінчук та ін., 2003; Фінчук та ін., 2004; Шляховський и др., 2007; Фінчук, Скопиченко, 2011).

**Виклад основного матеріалу.** США володіють найбільшими у світі геологічними запасами вугілля всіх типів, при цьому кам'яне (бітумінозне) вугілля і антрацити зосереджені у вугільних басейнах східної і центральної частин 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) і Пенсильванському (західна частина штату Пенсільванія, антрацити).

Басейни з бурим (лігнітом і суббітумінозним) вугіллям розміщуються у західній частині (штати Північна і Південна Дакота, Вайомінг, Монтана, Юта, Колорадо, Аризона, 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 незначній глибині, поширеністю на великих площах, стійкістю вмісних порід, помірним вмістом води і газу, а також великою різноманітністю типів вугілля і загалом високою їх якістю (рис. 1).

У зв'язку із значними запасами метану у більшості вугільних басейнів США його видобувають у багатьох регіонах (рис. 2). На деяких шахтах, особливо на заході США, вугілля має високу здатність до самозаймання. Це загрожує безпеці шахтарів і безперервності виробничого процесу. А за

наявності метану здатність вугілля до самозаймання стає дуже важливим чинником ризику. Натомість вилучення метану з вугільних пластів є надійним джерелом енергії. Наприклад, шахта San Juan компанії BHP Billiton є єдиним джерелом палива для електростанції San Juan.

**Результати досліджень.** Одну із ділянок вугільного басейну San Juan (США) досліджено на замовлення компанії BHP Billiton за проектом з дегазації вуглепородного масиву з використанням станції "Фенікс-1" (Україна, Київ). Мета дослідження — визначення місць скупчення вугільного метану.

На рис. 3 показано карту розподілу дебіту газу в свердловинах. При побудові карти використано дані випробувань свердловин (середній дебіт газу за добу в умовних одиницях — дані замовника). Поряд з номером свердловини червоними цифрами написано значення дебіту газу. У центральній частині площі виявлено дві аномалії підвищеного дебіту газу (західна — св. 3, 5, 174, східна — св. 2, 7). Дебіт газу у цих свердловинах у 100 разів більший за дебіти свердловин у крайових частинах досліджуваної площі.

На вертикальному розрізі (рис. 4) за геологічними даними показано глибинне положення пласта вугілля (чорна лінія), над розрізом — профільне положення свердловин і їх номери; червоні цифри — значення дебіту газу в свердловині (ум. од.). На профілі позначено свердловини з високим дебітом газу (св. 3 і 7) і св. 9. При інтерпретації було використано нормовані значення електромагнітних параметрів, пов'язаних з діелектричною проникністю порід.

В інтервалі глибин 200—500 м виділено три аномалії знижених значень (залито жовтим кольором). Аномалії 1, 2 збігаються з ділянками св. 3, 7. У межах св. 9 подібних аномалій немає. Порооди з високою діелектричною проникністю (в тому числі обводнені) позначено зеленим кольором. Імовірно, ці аномалії пов'язані із зонами підвищеного вмісту газу, оскільки діелектрична проникність порід у них мі-

німальна (2—3 од.) порівняно з діелектричною проникністю інших порід. Максимальну діелектричну проникність має вода (80—85 од.).

За площовим розподілом електромагнітного параметра  $\text{sum}(\text{modnfi})$  (див. рис. 3) оцінено електромагнітні властивості пласта вугілля, що містить газ, і, відповідно, положення місць максимального скупчення газу в пласті вугілля потужністю 10 м. У центральній частині площі виділено дві зони знижених значень електромагнітного параметра (залито червоним і жовтим кольором). Ці зони мають південно-східне простягання. Високодебітні свердловини 5, 3, 7 пробурено в межах західної зони, високодебітні свердловини 7 і 2 — у межах східної зони. Однак у межах цих зон розташовані свердловини з низьким дебітом (св. 13, 18). На думку авторів, ці аномалії пов'язані з пластами вугілля, заповненими газом. Проте наявність св. 9 (не працює) вказує на те, що цієї ознаки недостатньо для отримання постійного високого припливу газу зі свердловини.

На вертикальному розрізі св. 3, 9, 7 (див. рис. 4) синіми штриховими субвертикальними лініями (1—3) позначено міграційні канали, якими газ надходить у верхні горизонти вугільного масиву. Саме наявність цих каналів пояснюється високим дебіт свердловин, що розташовані над ними.

За результатами досліджень (див. рис. 3 і 4), можна зробити такі висновки.

1. Свердловини з високим дебітом газу розташовані на площах знижених значень електромагнітного параметра  $\text{sum}(\text{modnfi})$ , що збігаються з площами лінійних зон підвищених значень електромагнітного параметра  $1-3\text{ndfi}$ . Ці свердловини пробурено в 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 в пласті вугілля. Якщо пласти вугілля з хорошими колекторськими властивостями залягають

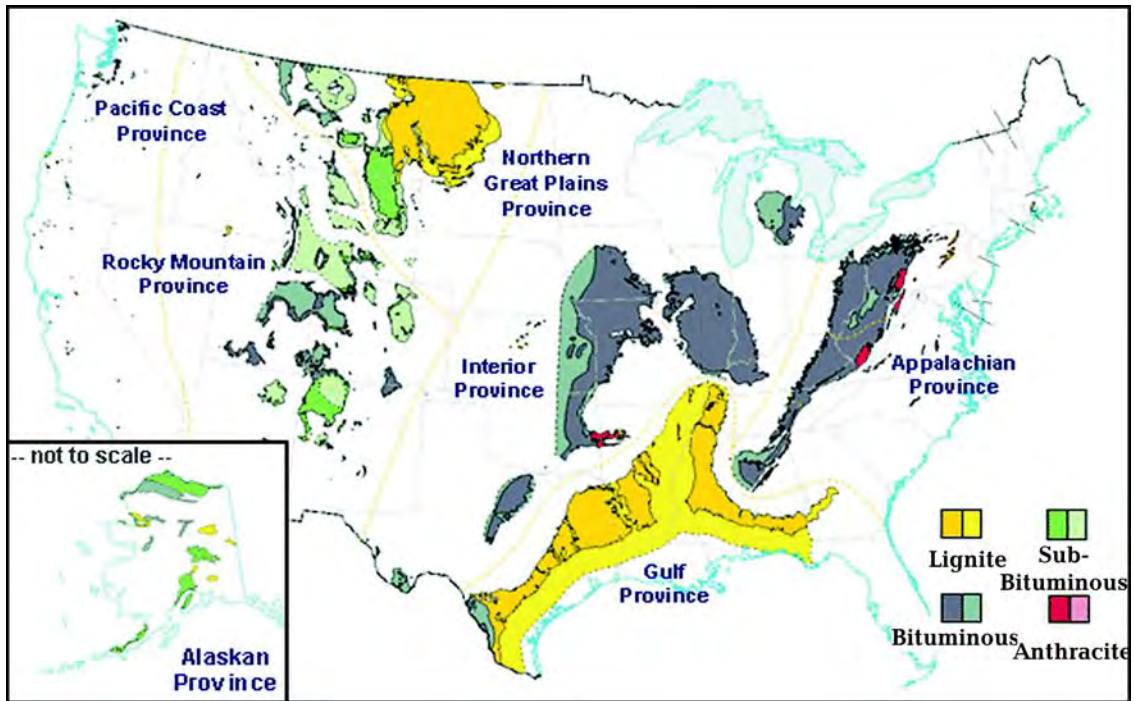


Рис. 1. Вугільні басейни США. Adapted from USGS and AK Dept. of Natural Resources (<http://www.geocraft.com/WVFossils/Energy.html>).

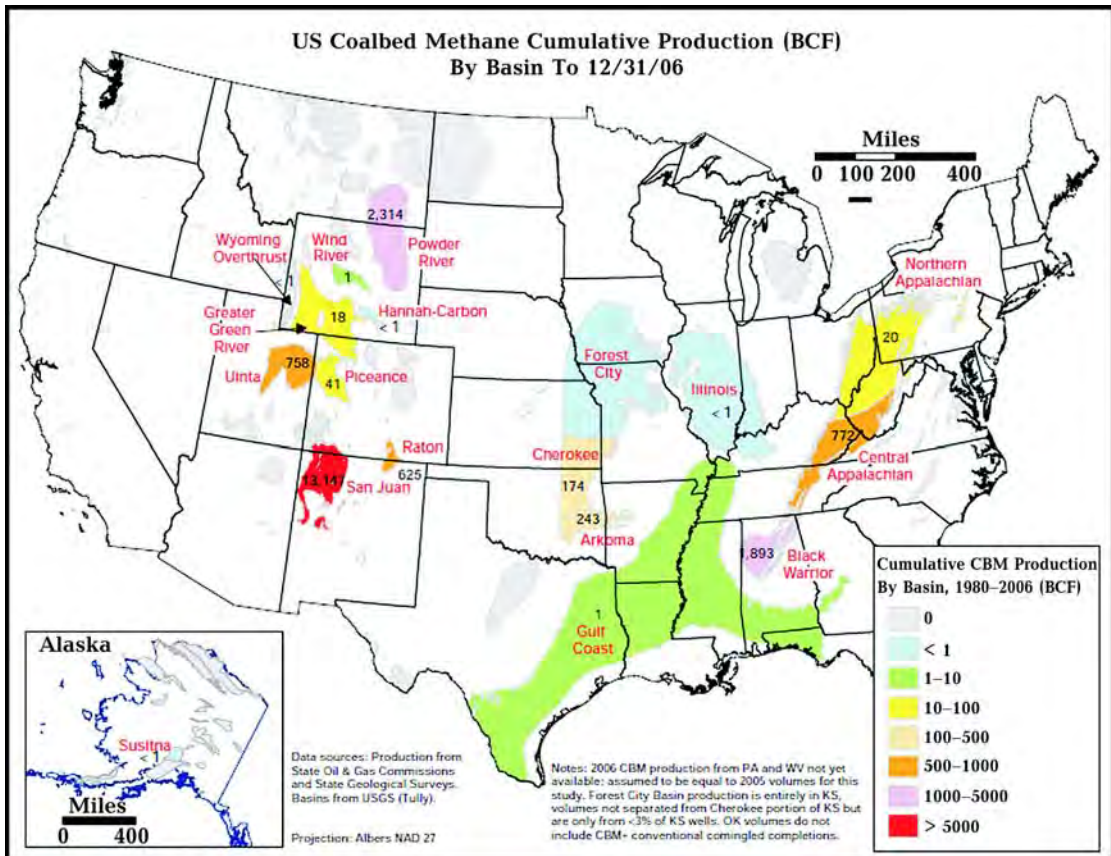


Рис. 2. Метан вугільних родовищ США (<http://teec.indianaffairs.gov/er/oilgas/restech/dist/index.htm>). Умовні позначення: визначення запасів метану вугільних родовищ США 1990—2006 р. (0 — більш як 5 млрд м<sup>3</sup>).



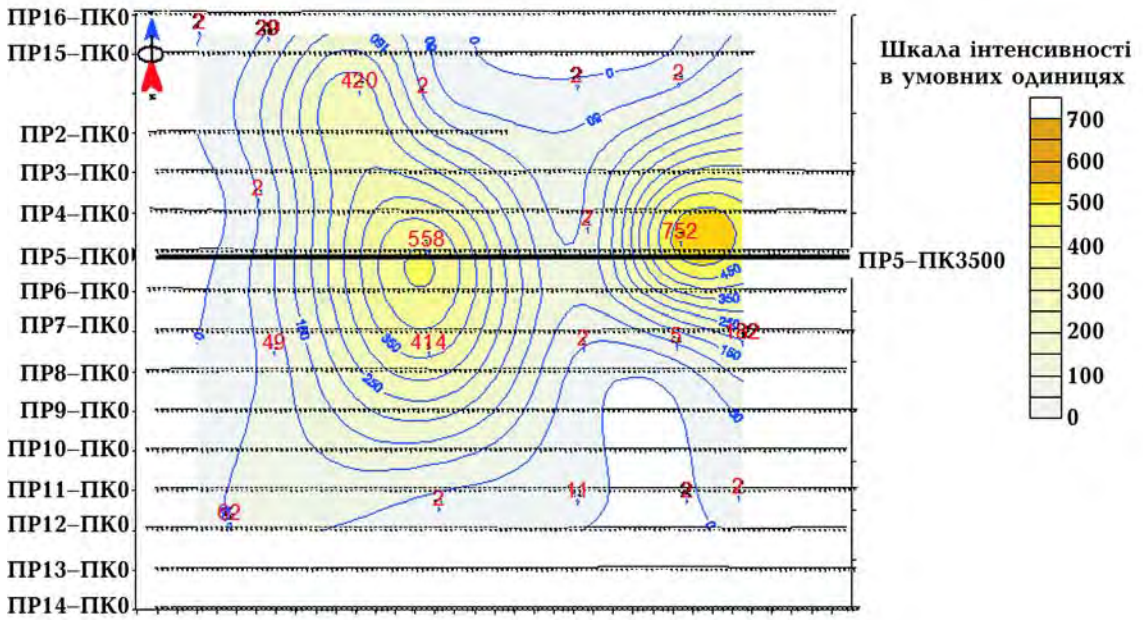


Рис. 3. Карта розподілу дебіту газу в свердловинах одного з вугільних родовищ басейну San Juan (США).

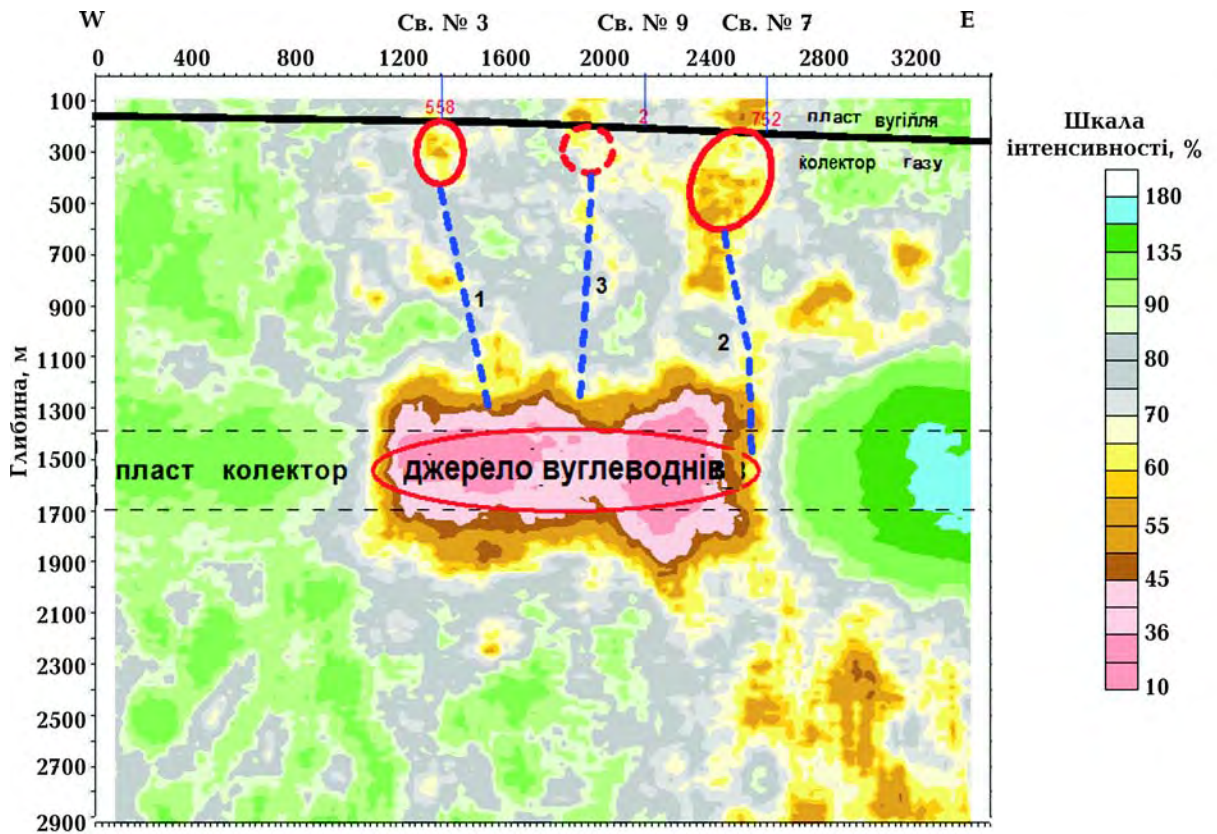


Рис. 4. Вертикальний розріз по профілю св. 3, 9, 7.

над глибинним джерелом вуглеводнів або в межах вертикальних зон підвищеної проникності — дебіт свердловин максимальний.

**Висновок.** Коректне вирішення подібних геологічних завдань (виявлення перспективних для видобутку газу ділянок на площах вугільних родовищ) можливо тільки із застосуванням високоінформативних геоінформаційних систем 5D, де враховано речовинний склад колектору, глибину, структурно-тектонічні особливості. Будь-які геофізичні методи, включаючи сейсморозвідку, таких можливостей на сьогодні не мають.

За результатами досліджень електро-розвідки методом ТЕМЗ площі вугільного басейну San Juan визначено критерії виділення площових аномалій, перспективних на видобуток газу з вугільних пластів, що залягають на невеликій глибині. Джерело вуглеводнів знаходиться значно глибше (1400—1700 м). Міграція газу та його накопичення у проміжному колекторі, яким є вугільний пласт та вмісні породи, відбуваються переважно вертикальними зонами. Метод ТЕМЗ дає змогу локалізувати глибинне джерело і вертикальні зони, якими мігрує газ. Зазначена тех-

нологія може бути використана при вирішенні питань дегазації вуглепородного масиву спільно з бурінням свердловин.

Метод також доцільно використовувати перед початком робіт з дегазації вугільних пластів і вмісних порід вугільних басейнів. У такому разі виділяють локальні електромагнітні аномалії (вертикальні, пластові), визначають систему тектонічних порушень площі досліджень. За подальшого буріння свердловин установлюють геологічну природу цих аномалій і визначають шляхи найефективнішого розташування свердловин для дегазації вуглепородних масивів.

Для підвищення ефективності прогнозування поширення колекторів у вуглепородному масиві діючих шахт доцільно використовувати метод ТЕМЗ з метою визначення глибини і типу аномалій під час пошуків зон скупчення метану. За наявності геологічної інформації про газові прояви цей метод може бути застосований для уточнення структури газових проявів у межах сучасних вугледобувних виробок.

Автори глибоко вдячні В.А. Шляховському за надані свого часу і використані в цій статті матеріали.

### Список літератури

- 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.
- 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", Судақ, 29 вересня —1 жовтня 2004 р.* Т. 1. С. 367—369.
- Фінчук В.В., Скопиченко І.М. Метод точкового електромагнітного зондування і його можливості. *Екологія і природокористування*. 2003. Вип. 6. С. 169—172.
- Фінчук В.В., Скопиченко І.М. Результати прогнозування скупчень вуглеводнів на Наріжнрянській площі ДДЗ за даними електророзвідувальних робіт методом точкових електромагнітних зондувань. *Геол. журн.* 2011. № 3. С. 131—138.
- Фінчук В.В., Скопиченко І.М., Новиков А.В. Метод точкового електромагнітного зондування. Теорія і способи обробки. *Екологія і природокористування*. 2003. Вип. 6. С. 173—178.
- Шляховский В.А., Финчук В.В., Секачев П.Н. Энергетические зоны земли: *Междунар. геол. конф. г. Казань, Россия, 13—16 ноября 2007 г.* Казань: Изд-во Казан. гос. ун-та, 2007. Т. 2. С. 254—258.

# Determination of areas of gas methane accumulation in carbon-mass massives by transient electromagnetic sounding method (on the example of the San Juan coal basin, USA)

*I. Skopychenko, V. Finchuk, N. Vergelska, 2018*

According to the results of the research with the method of point electromagnetic sounding (PEMS) of the area of the coal basin of San Juan the criteria were obtained for the allocation of plane anomalies, promising for the extraction of gas from coal seams that are located at a small depth. The source of hydrocarbons is much deeper (depths of 1400—1700 m). The migration of gas and its concentration in the intermediate collector, which is the coal bed and enclosing rock, occurs mainly in vertical zones. The TEMZ method allows localization of the deep source and the vertical zones that undergo gas migration. The said technology can be used in solving the problems of carbonaceous mass degassing together with drilling wells. It is also advisable to use the method before commencing work on the degassing of coal seams and enclosing coal basins. In this case local electromagnetic anomalies (vertical, stratum) are distinguished, the system of tectonic disturbances of the research area is determined. Subsequent drilling of wells establishes the geological nature of these anomalies and determines the ways of the most efficient arrangement of wells for the degassing of carbonaceous arrays. To increase the efficiency of forecasting the distribution of collectors in the coal-bearing array of existing mines, it is expedient to use the TEMP method, which allows determining the depth and types of anomalies for the search for methane accumulation zones.

**Key words:** gas from coal seams, the ways of gas migration, forecast of gas collectors, TESM method.

## References

- Skopychenko I., Finchuk V., 2015.* Determination of gas accumulative areas within the coal basins by transient electromagnetic sounding method. *Tectonika i stratigrafiya*, (42), 106—108 (in Ukrainian).
- Finchuk V., Mikhailuk S., Skopichenko I., 2004.* The results of transient electromagnetic sounding method on Narizhnyanska and Khortyt-ska areas. *Oil-and-Gas of Ukraine Materials of the 8<sup>th</sup> International Scientific and Practical Conference "Oil-and-Gas of Ukraine-2004" Sudak, September 29 — October 1, 2004.* Vol. 1. P. 367—369 (in Ukrainian).
- Finchuk V., Skopichenko I., 2003.* Method of transient electromagnetic sounding and its possibilities. *Ekolohiya i pryrodokorystuvannya*, (6), 169—172 (in Russian).
- Finchuk V., Skopichenko 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. *Geologicheskij zhurnal*, (3), 131—138 (in Ukrainian).
- Finchuk V., Skopichenko I., Novikov A., 2003.* Method of transient electromagnetic sounding. Theory and methods of processing. *Ekolohiya i pryrodokorystuvannya*, (6), 173—178 (in Russian).
- Shlyakhovsky V., Finchuk V., Sekachev P., 2007.* Energy zones of the Earth: *International Geological Conference, Kazan, Russia, November 13—16, 2007.* Publishing house of Kazan State University. Vol. 2, P. 254—258 (in Russian).