

д. г.-м. н., проф. В.В. Лукинов,
проф. інж. О.В. Приходченко
(ІГТМ НАН України)
д. г.-м. н., проф. Ю.М. Нагорний
(ВНЗ НГУ)

**ВПЛИВ РЕГІОНАЛЬНИХ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ БУДОВИ
ВУГЛЕПОРОДНОГО МАСИВУ НА ФОРМУВАННЯ ТЕХНОГЕННИХ
СКУПЧЕНЬ МЕТАНУ В ПІДРОБЛЕНІЙ ГІРСЬКІЙ ТОВЦІ**

Выполнена оценка плотности остаточных ресурсов метана для шахт Донецко-Макеевского геолого-промышленного района. Установлена тенденция увеличения плотности остаточных ресурсов метана в северо-восточном направлении.

**INFLUENCE OF REGIONAL STRUCTURE DEPENDENCY OF
COAL-ROCK MASSIVE ON FORMATION OF ANTHROPOGENIC
ACCUMULATIONS OF METHANE WITHIN UNDERMINING STRATA**

Estimation of remaining resources of anthropogenic accumulations of methane for mines Donetsko-Makeevsk region has been performed. A trend of increasing density of residual methane resources in the north-east at Donetsko-Makeevsk region had been found. Increase the density of residual resources of methane from coal-bearing strata capacity increase had been proved.

Для прогнозу та виділення зон перспективних на скупчення техногенного метану варто оцінити регіональні залежності зміни густоти залишкових ресурсів метану. До теперішнього часу залишаються не дослідженими питання впливу регіональних закономірностей будови вуглепородної товщі на формування техногенних скупчень метану.

З метою вирішення поставленої задачі необхідно прослідкувати зміну густоти залишкових ресурсів метану в просторі. Для регіональної оцінки геологічних факторів було обрано Донецько-Макіївський геолого-промисловий район Донбасу. Для локальних оцінок обрано ряд шахтних полів: шахта ім. О.Ф. Засядька, «Чайкіно» та шахта ім. В.М. Бажанова. Для наведених шахтних полів, за даними геологорозвідувальних свердловин, було виконано розрахунки густоти залишкових ресурсів метану.

Для розрахунку значення густоти залишкових ресурсів метану необхідно встановити інтервал, який внаслідок проведення гірничих робіт був порушений та виділити в ньому зони «швидкого» та «повільного» газу. Оскільки проникність в зоні «швидкого» газу досягає великих значень (більше $100 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$) газ з цієї зони під час видобутку вугілля дренажу до працюючої лави та виноситься системами вентиляції та дегазації на поверхню, таким чином не беручи участі у формуванні техногенних скупчень метану. Метан з зони «повільного» газу поступово дренажу до порушеної тріщинами зони «швидкого» газу та старих гірничих виробок створюючи техногенні поклади метану. Таким чином, техногенний колектор формується в зоні «швидкого» газу та в старих гірничих виробках, але наповнюватись він буде метаном з зони «повільного» газу.

Отже, для оцінки густоти залишкових ресурсів метану необхідно розрахувати та скласти ресурси метану у вугільних пластах та пісковиках розташованих в зоні «повільного» газу.

Розрахунок інтервалів розуцільнення підробленої товщі для пісковиків, вугільних пластів та прошарків виконується за формулою, наведеною в СОУ [1]. За методикою наведеною в [2] встановлюється залежність зміни тиску в розуцільненому вуглепородному масиві над відробленим вугільним пластом. Для її встановлення верхню межу зони впливу підробки варто розраховувати за пісковиками або аргілітами, оскільки ці породи мають більший коефіцієнт критичної деформації розтягнення, тому вони на меншій відстані від відробленого вугільного пласта збережуть суцільність ніж інші породи і слугуватимуть екранами. Такі теоретичні розрахунки були підтверджені дослідженнями зміни тиску в підробленому вуглепородному масиві, які ґрунтувались на зміні статичного рівня води в свердловині [3].

Встановлення залежності зміни тиску в свердловині дозволяє виконати оцінку зміни інтегральної проникності в підробленому гірничому масиві та виділити зони «повільного» та «швидкого» газу.

В інтервалі зони «повільного» газу виконується аналіз геологічного розрізу та розраховується густина ресурсів метану для пісковиків потужністю більше 5 м та вугільних пластів-супутників потужністю від 0,2 м та більше. Розрахунок густоти ресурсів в пісковиках виконується за формулою:

$$P_{nz} = \sum_{i=1} x_{ni} \cdot m_{ni},$$

де x_{ni} – газонасність пісковиків, м³/м³;

m_{ni} – потужність шару пісковика, м.

Густина ресурсів метану у вугільних пластах та прошарках розраховується за формулою:

$$P_{\text{вз}} = \sum_{i=1} (x_{\text{вз}i} - x_{\text{вз}0i}) \cdot m_i \cdot \rho_{\text{вз}},$$

де $x_{\text{вз}i}$ – пластова газонасність вугільного пласта-супутника, м³/т;

$x_{\text{вз}0i}$ – пластова залишкова газонасність вугільного пласта-супутника, м³/т;

m_i – потужність вугільного пласта-супутника, м;

$\rho_{\text{вз}}$ – пластова густина вугільного пласта-супутника, т/м³.

Розрахунок густоти залишкових ресурсів метану виконується для кожної окремої свердловини і складається з густоти ресурсів метану в пісковиках та пластах-супутниках розташованих в зоні «повільного» газу:

$$P_z = P_{nz} + P_{\text{вз}}.$$

Розрахунки виконувались для кожного з відроблених вугільних пластів, а саме для вуглепородної товщі підробленої при відпрацюванні пласта l_1 шахти ім. О.Ф. Засядька, пласта m_3 шахти «Чайкіно» та пласта m_3 шахти ім. В.М. Бажанова. Слід зазначити, що більшість з вказаних вугільних пластів продовжують розроблятися і розрахунки були виконані для ділянок відроблених раніше.

За результатами розрахунків методом інтерполяції були побудовані карти густоти залишкових ресурсів метану над відробленим вугільним пластом.

Для встановлення регіональних тенденцій зміни густоти залишкових ресурсів метану застосовувався метод апроксимації (тренд-аналізу). В роботі А.М. Берляндта [4] вказано, що апроксимація – це деяке спрощення природних складних залежностей, наближення до них шляхом заміни невідомих функцій відомими. Якщо прийняти, що зображена на карті складна поверхня може бути визначена як геометричне місце точок, які задовольняють рівнянню

$$z = F(x, y),$$

де z - значення функції в будь-якій точці при умовних її координатах x та y .

Завдяки тому, що природні показники мають досить складні закономірності зміни в просторі, ця функція, як правило, не може бути встановлена в чисельному вигляді.

Але її можна апроксимувати, тобто приблизно описати відомими математичними функціями, які найближче відповідають поверхні. Рівняння має вигляд:

$$z = F(x, y) + \varepsilon$$

де ε - залишок, який неможливо апроксимувати.

Функція $F(x, y)$, як правило, розкладається в ряди, компоненти яких розраховуються в чисельному вигляді з головною умовою - мінімальністю квадратів відхилень апроксимуючої поверхні від природної. В якості апроксимуючої поверхні використовуються різні відомі математичні функції, але в геологічних дослідженнях найбільш широко застосовується апроксимуюча функція у вигляді полінома певного ступеня:

$$F(x, y) = a_{00} + a_{10}x + a_{01}y + a_{11}xy + a_{20}x^2 + a_{02}y^2 + \dots + a_n x^n y^n$$

В геології найчастіше застосовуються поліноми трьох перших ступенів. Для даних досліджень був застосований поліном першого ступеня, котрий має вигляд:

$$z(x, y) = A + Bx + Cy.$$

Апроксимуючий поліном першого ступеня являє собою похилу площину, що дозволяє оцінити загальні тенденції зміни в просторі густоти залишкових ресурсів метану.

Поле шахти ім. О.Ф. Засядька розташовано в центральній частині Донецько-Макіївського геолого-промислового району. В геологічній будові приймають участь відклади середнього та верхнього карбону світ C_2^5 , C_2^6 , C_2^7 та C_3^1 .

Вугільний пласт l_1 по всьому шахтному полю має стійку робочу потужність (0,85 – 2,0 м) та складну будову. В більшості випадків пласт має трьохпачкову будову. Верхня вугільна пачка потужністю 1,0 – 1,2 м відділена від другої пачки (0,3 – 0,4 м) породним прошарком (0,05 – 0,1 м). Третя пачка потужністю 0,35 – 0,4 м відділена від двох перших прошарком пісковіку (0,05 – 0,1 м). В північно-східній частині шахтного поля пласт розділяється на два – l_1^6 та l_1^H . Потужність кожного з них близько 0,5 – 0,6 м. Вугілля пласту відноситься до марки Ж. Вихід летких речовин в середньому становить 32%. Пласт є малозольним, вміст сірки до 4%. Покрівля пласта складена аргілітом потужністю близько 3 м, над яким залягає пісковик потужністю 25 – 30 м. В підшві пласту залягає аргіліт потужністю 5 – 6 м. Пласт відноситься до небезпечних за пилом, раптовим викидам вугілля та газу, а також схильний до самозаймання. З 2007 року пласт не відробляється.

За даними 22 геологорозвідувальних свердловин, які перебурили вугільний пласт l_1 були виконані розрахунки висоти зони впливу підробки, проведена оцінка інтегральної проникності підробленого вуглепородного масиву і виконана оцінка густоти залишкових ресурсів метану. За результатами розрахунків побудовано карту ізоліній густоти залишкових ресурсів метану (рис. 1).

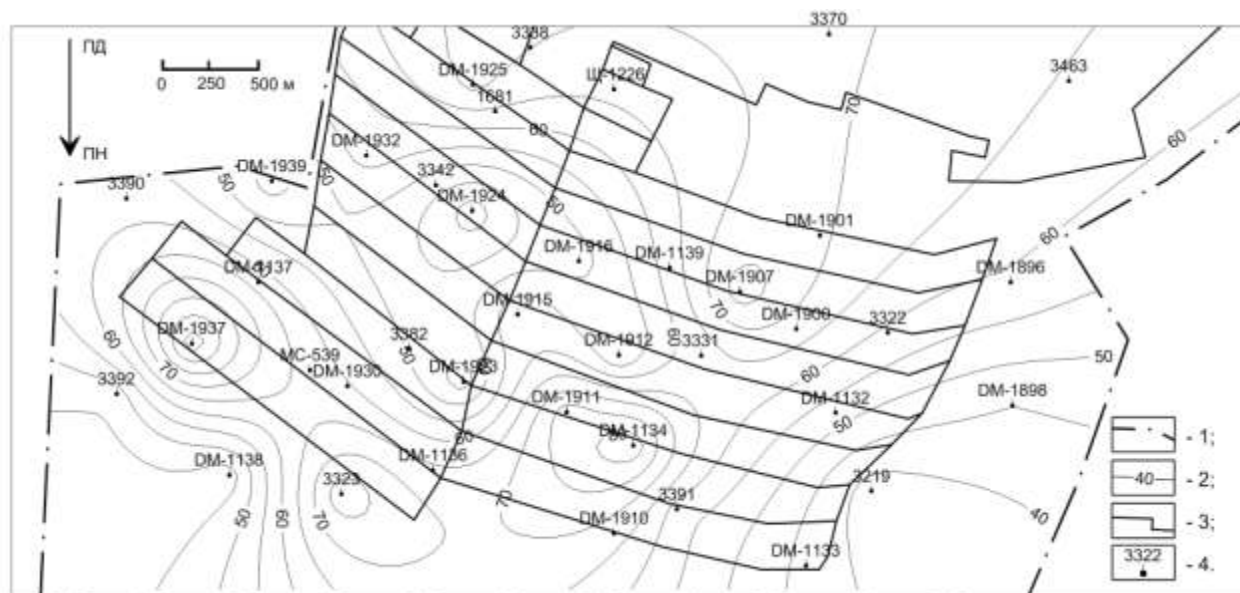


Рис. 1 – Карта ізоліній густоти залишкових ресурсів метану над пластом l_1 на полі шахти ім. О.Ф. Засядька

По карті ізоліній густоти залишкових ресурсів метану на полі шахти ім. О.Ф. Засядька над пластом l_1 відзначено збільшення значень густоти залишкових ресурсів метану в північно-східному напрямку, що підтверджується побудовою апроксимуючої поверхні (рис. 2). Значення густоти залишкових ресурсів метану в південно-західній частині шахтного поля в районі свердловини ДМ-1898 становить $45,1 \text{ м}^3/\text{м}^2$ і по свердловині ДМ-1896 становить $59,1 \text{ м}^3/\text{м}^2$, у північно-східній частині в районі свердловини ДМ-1937 дана величина дорівнює $88,8 \text{ м}^3/\text{м}^2$.

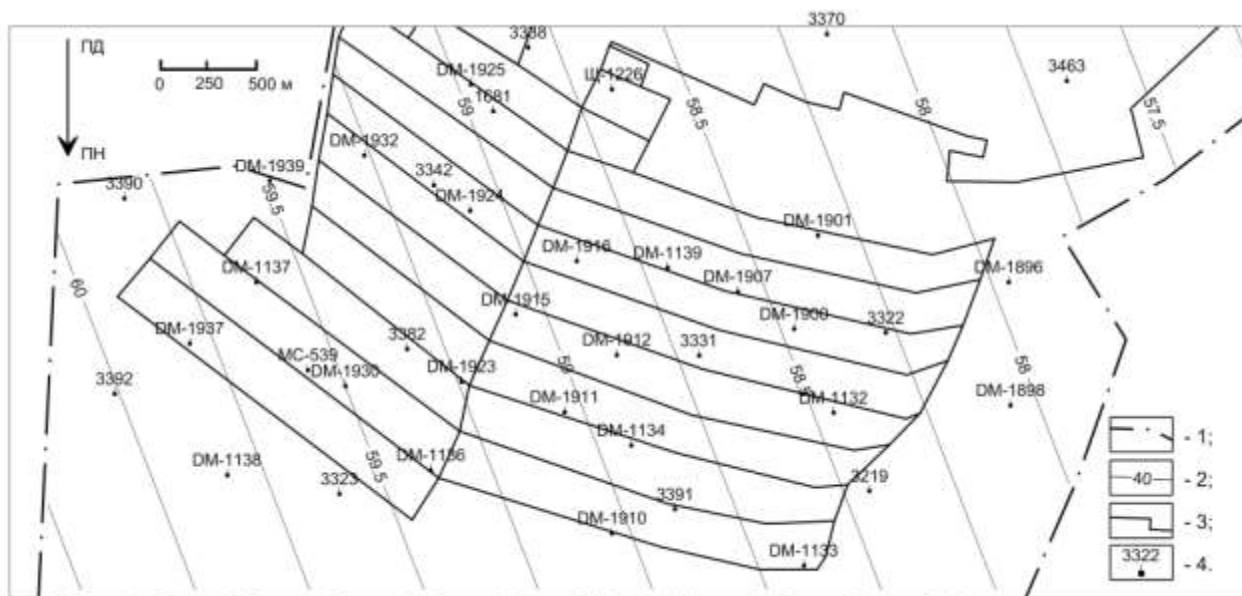


Рис. 2 – Карта апроксимуючої поверхні густоти залишкових ресурсів метану над пластом l_1 на полі шахти ім. О.Ф. Засядька

Поле шахти «Чайкіно» розташовано у північно-східній частині південного крила Кальміус-Торезької улоговини, в висячому крилі Французького насуву, між Калинівській та Чайкінській флексурними складками. Вугільний пласт m_3 по всьому шахтному полю має стійку робочу потужність (1,45 – 1,9 м) та складну будову. В більшості випадків верхня вугільна пачка потужністю 0,04 – 0,14 м віддалена породним прошарком (0,03 – 0,09 м) від основної нижньої пачки (1,4 – 1,65 м). В південній частині поля пласт має 3-х пачкову будову. Границя розповсюдження метанових газів на глибині 230 – 300 м. Метаноносність пласта m_3 $14,7 - 27,4 \text{ м}^3/\text{т.г.м.}$ В умовах спокійного залягання газопрояви мають звичайний характер, а в зонах геологічних порушень були відмічені суфляри та викиди вугілля і газу. Вугілля пласта m_3 відноситься до марки Ж. Вихід летких речовин 27,6 – 34,4%. Оцінка густоти залишкових ресурсів метану була виконана за даними 18 геологорозвідувальних свердловин. Розрахункова висота зони впливу підробки для пісковиків змінюється від 118,7 м в районі свердловини МС-511 до 144,9 м в районі свердловини № 3840, для вугільних пластів і пропластків від 207,6 м до 253,6 м. Значення густоти залишкових ресурсів метану змінюються від $51,0 \text{ м}^3/\text{м}^2$ в південно-західній частині шахтного поля в районі свердловини МС-261 до

104,9 м³/м² в північно-східній частині в районі свердловин №№ 3600 і 3927 (рис. 3).

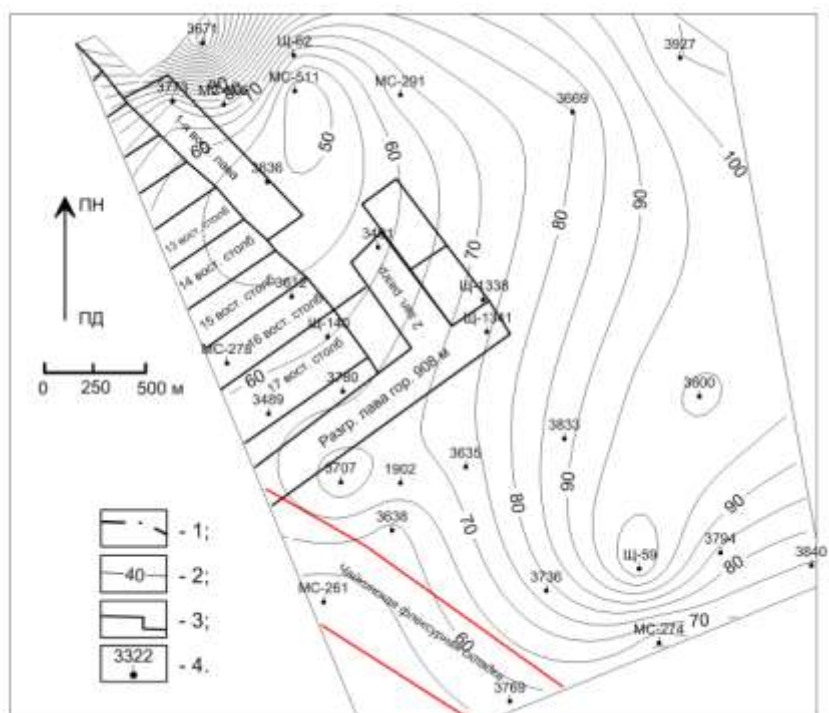


Рис. 3 – Карта ізолій густоти залишкових ресурсів метану над пластом m_3 на полі шахти «Чайкіно»

По карті апроксимуючої поверхні (рис. 4) відзначено збільшення залишкових ресурсів метану по шахтному полю в північно-східному напрямку.

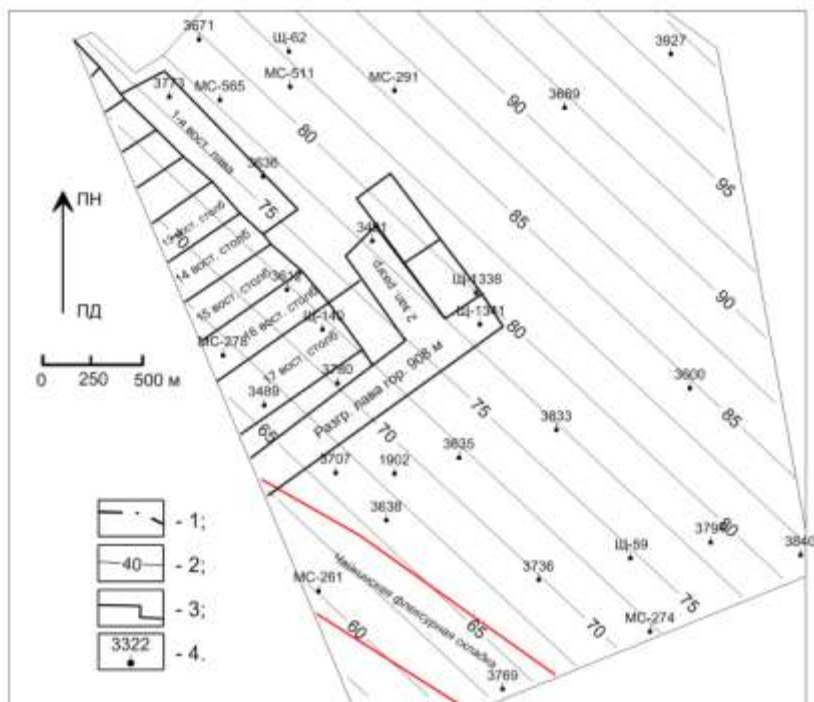


Рис. 4 – Карта апроксимуючої поверхні густоти залишкових ресурсів метану над пластом m_3 на полі шахти «Чайкіно»

Шахта ім. В.М. Бажанова розробляє вугільний пласт m_3 . Шахтне поле розташовано нижче по падінню від шахти «Чайкіно». Вугільний пласт m_3 на всьому полі характеризується стійкою робочою потужністю (1,5 – 1,7 м) і складною, двопачковою будовою. Верхня вугільна пачка потужністю 0,05 – 0,15 м відділена породним прошарком (0,05 – 0,1 м) від основної вугільної пачки потужністю 1,1 – 1,65 м. Вугільний пласт m_3 відноситься до марок К – ПС, є малозольним, вміст сірки в ньому не перевищує 2,5 – 3,5 %. Метаноносність пласта висока. Пласт відноситься до особливо небезпечних по викидам вугілля та газу, а також схильний до самозаймання. Розрахунки густоти залишкових ресурсів метану були виконані за даними 35 геологорозвідувальних свердловин.

Середня висота зони впливу підробки для пісковиків становить 158 м, для вугільних пластів і пропластків 276 м. Густота залишкових ресурсів метану змінюється від 47,7 м³/м² в південно-західній частині шахтного поля (свердловини №№ Щ-481, 3952) до 122 м³/м² в північно-східній (свердловина Щ-817) (рис. 5).

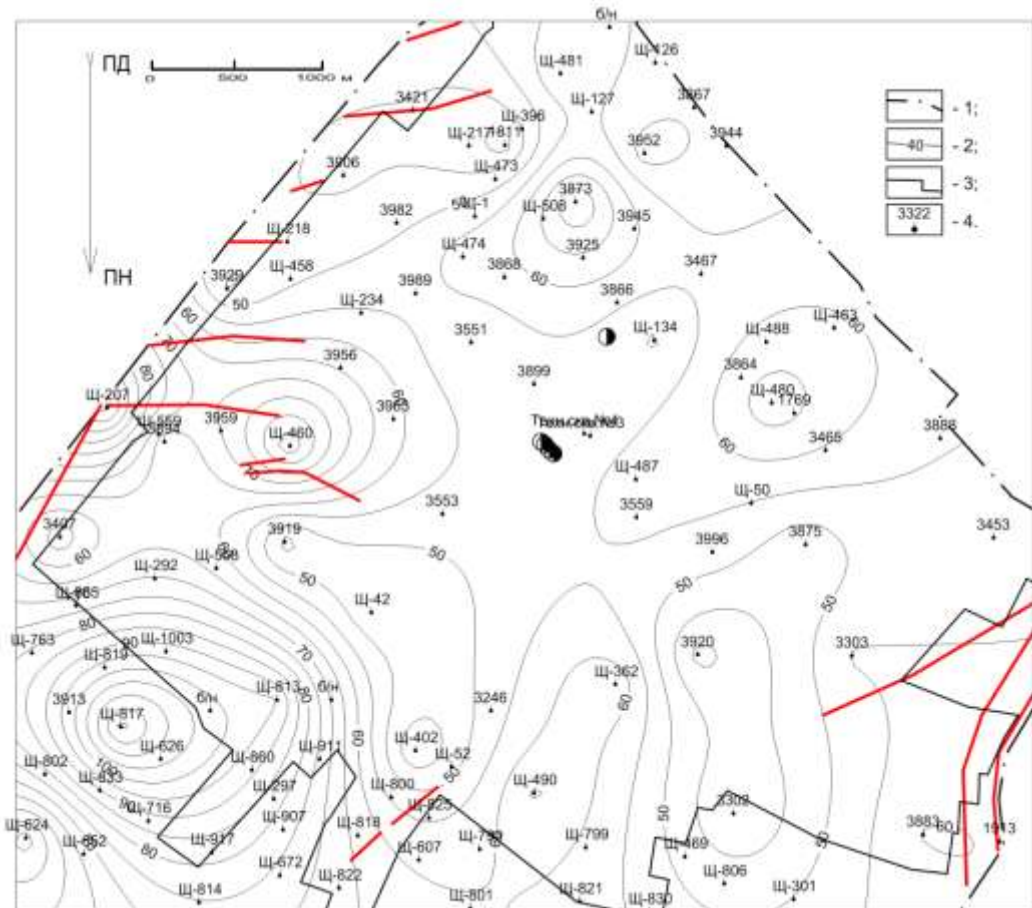


Рис. 5 – Карта ізолій густоти залишкових ресурсів метану над пластом m_3 на полі шахти ім. В. М. Бажанова

На полі шахти ім. В.М. Бажанова також відзначено збільшення густоти залишкових ресурсів метану в північно-східному напрямку (рис. 6).

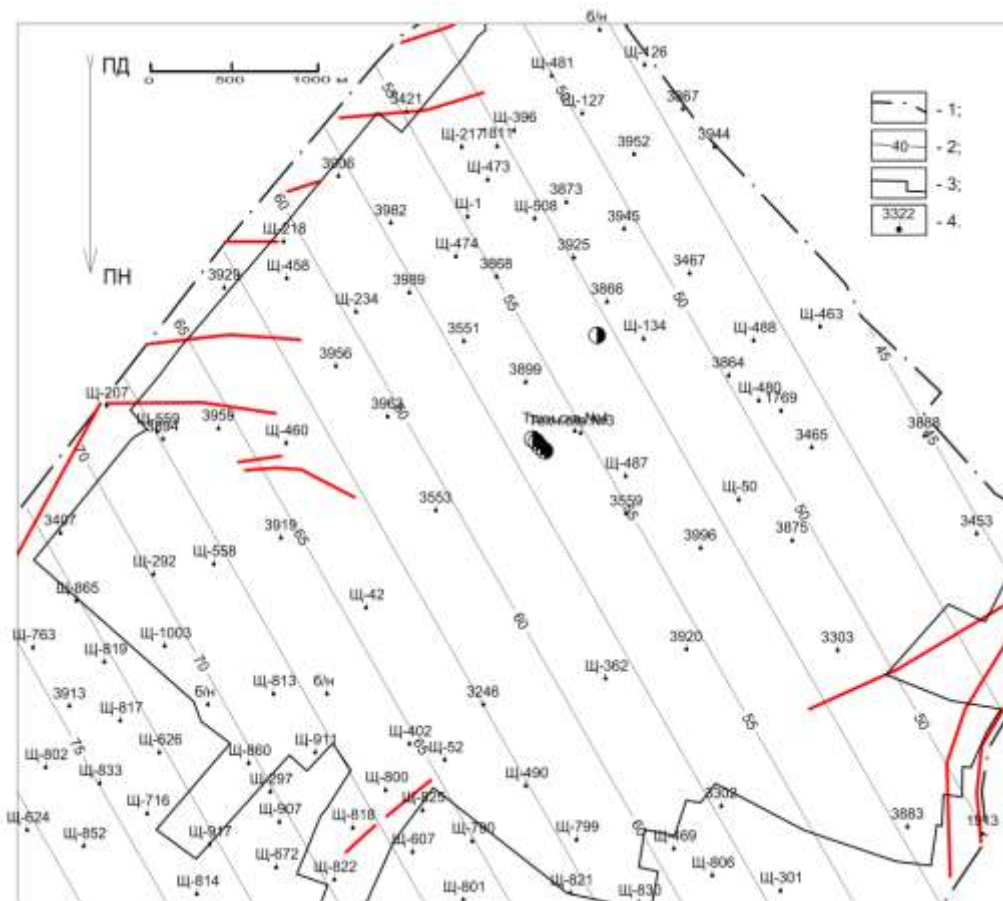


Рис. 6 – Карта апроксимуючої поверхні густоти залишкових ресурсів метану над пластом m_3 на полі шахти ім. В. М. Бажанова

Таким чином, на ряді шахт Донецько-Макіївського геолого-промислового району, була встановлена тенденція збільшення густоти залишкових ресурсів метану в північно-східному напрямку. Таку залежність можна пояснити тим, що однією з характерних рис середньокам'яновугільних відкладів у Донецько-Макіївському районі є послідовне і закономірне збільшення потужності світ в напрямку з південного заходу, де сумарна потужність світ складає 1800-1900 м, на північний схід, де вона дорівнює 3400-3450 м.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Техногенні скупчення метану у порушеному вуглепородному масиві. Методика прогнозування зон підвищеної газонасиченості та визначення їх параметрів : Завт. Мінвуглепром України 24.10.07 / А. Ф. Булат, Д. П. Гуня, А. П. Клец, О. О. Куц [та ін.]. – К., 2007. – 14 с.
2. Лукинов, В. В. Давление флюидов и оценка изменения интегральной проницаемости в подработанном углеродном массиве / В. В. Лукинов, А. П. Клец, А. В. Приходченко [и др.] // Науковий вісник НГУ. – 2010. – № 5. – С. 106–110.
3. Приходченко, О. В. Оцінка залишкових ресурсів техногенних скупчень метану / О. В. Приходченко, Д. В. Приходченко // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Гірничо-геологічна» вип. 15 (192) 2011 р. - Донецьк. – 384 с.
4. Берляндт, А. М. Образ пространства: карта и информация / А. М. Берляндт. – М.: Мысль, 1986. – 240с.

Д.т.н. Т.А. Василенко,
к.ф.-м. н. А. К. Кириллов,
к.ф.-м. н. А.Н. Молчанов

НЕИНВАЗИВНЫЕ МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ КОЛЛЕКТОРСКИХ СВОЙСТВ ИСКОПАЕМЫХ УГЛЕЙ

Розглянуті фізичні неінвазивні методи дослідження, які дозволяють отримати уявлення про такі властивості вугільної речовини як повна пористість, питома поверхня, розподіл пір по розмірах та ін., що дають уявлення про колекторні властивості вугільних пластів. Отримані характеристики структури порового простору, що визначають транспортні властивості флюїдів.

NONINVASION METHODS OF STUDY OF RESERVOIR FEATURES OF FOSSIL COALS

Physical noninvasion methods of studies are considered, which allow characterizing such properties of coal as total porosity, specific surface, size distribution of pores and etc., demonstrating the reservoir features of coal beds. The description of pore space structure, determining transport properties of fluids, is presented.

Коллекторские свойства ископаемых углей зависят от многих параметров и свойств угольного вещества, но в первую очередь определяются его пористо-трещиноватой структурой, которая включает в себя трещины, открытые и закрытые поры, а также промежутки между хаотично ориентированными квазиароматическими слоями. В настоящее время при изучении строения угольного вещества и его коллекторских свойств получили широкое распространение физические методы, позволяющие проводить эти исследования без разрушения образцов. Такие методы относят к неинвазивным. Для анализа углей используются методы электронного и ядерного магнитного резонансов (ЭПР и ЯМР), малоуглового рентгеновского рассеяния (МУРР) и АСМ и СЭМ. За последнее десятилетие получил развитие метод импедансной спектроскопии, основанный на измерении комплексного электрического импеданса пористых сред.

Один из методов изучения пористых сред [1] – это методика спин-эхо, где используется последовательность двух радиочастотных импульсов с интервалом между ними τ и с задержкой эхо-сигнала 2τ . Время релаксации магнитных моментов ядер водорода T_2 определяется геометрически средней величиной между поверхностной $1/T_b$ и объемной $1/T_s$ скоростями [2] и зависит от $(\lambda S)/V$, где S и V – площадь поверхности и объем, занимаемый жидкостью в поре; λ – длина, представляющая протяженность взаимодействия молекул сорбата с поверхностью, ответственного за увеличение скорости релаксации (уменьшение T_2) по сравнению с таковыми для молекул, находящихся в объеме. Отношение $\rho = \lambda T_s$ (surface relaxivity) характеризует силу взаимодействия молекул жидкости с поверхностью сорбента и проницаемость поверхности для данной молекулы.

Известны экспериментальные методы совместного определения