УДК 553.98.812](477)

Оцінка газоносності кам'яновугільних покладів та прогнозування проявів небезпечних явищ на шахтах Донбасу (на прикладі шахти ім. О. Ф. Засядька)

© І. Д. Багрій, 2011

Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна

Надійшла 12 березня 2010 р.
Представлено членом редколегії В. І.Старостенком

Изложены основные научно-методические положения разработанного в Институте геологических наук НАН Украины комплекса методов приповерхностных структурно-термоатмогеохимических исследований (СТАГИ), результаты его применения при изучении закономерностей распределения эманационных и углеводородных газов, а также современной геодинамической активности на угольных месторождениях Донбасса (на примере шахт «Томашевская» и им. А. Ф. Засядько). Обоснованы целесообразность внедрения СТАГИ при оценке перспективности метаноносных структур угольных месторождений промышленной добычи метана как энергетического сырья и прогнозирование участков возможных проявлений опасных газодинамических явлений.

The paper highlights the major scientific-methodological theses of the near-surface structural thermo-atmo-geo-chemical methods (STAGM) developed at the Institute of Geological Sciences (NAS of Ukraine) and the results of its implementation in the study of conformities of distribution of emanation and hydrocarbon gases and modern geodynamical activity at the Donbas coal deposits (Tomashivska and A. F. Zasyadko mines). The research proves the expediency of applying structural thermo-atmo-geo-chemical methods for the evaluation of methane-bearing structures of coal deposits of industrial coal production (with methane as raw fuel material), as well as for forecasting the areas with potentially dangerous gas-dynamic processes.

Передмова. Проблемам газоносності кам'яновугільних покладів присвячені тривалі (з кінця XIX — на початку XX ст.) та численні наукові дослідження, спрямовані на вивчення особливостей вмісту та розподілу вуглеводневих газів у пластах вугілля й вмісних породах. Ці проблеми розглядали у двох головних аспектах: газоносність (метаноносність) кам'яновугільних родовищ як визначальний чинник прояву небезпечних геодинамічних явищ (викидів порід, вугілля, вибухів газу та ін.) під час гірничодобувних робіт; можливість використання (утилізації) метану як самостійного нетрадиційного виду енергетичної сировини.

Подальший розвиток вугільної промисловості Донбасу прямо залежить від успішного вирішення питань дегазації вугільних пластів та боротьби з геодинамічними явищами (далі — ГДЯ). Збільшення глибин розробки вугільних родовищ веде до ускладнення гірничо-геологічних умов: зниження стійкості виробок, зміни напружено-деформованого стану гірського масиву, збільшення газоносності та викидонебезпеки. Найбільш економічні та соціальні втрати спричинені такими ГДЯ: раптові викиди вугілля, породи й газу; гірничі удари, раптові обвалення, прориви газу, витискання вугілля. ГДЯ є причиною аварій на шахтах з людськими жертвами. За переходу в глибші горизонти газовий режим гірничих виробок (виділення в них метану та інших газів) стає основним чинником, який суттєво впливає на умови безпеки й стримує темпи гірничодобувних робіт. З 200 шахт України 87 % є небезпечними за вмістом газу. Тому у видобуванні вугілля однією з найважливіших проблем забезпечення безпеки робіт є видалення метану з вугільних пластів у місцях розробки й тих, де відбувається або планується підготовка до експлуатації вугільних родовищ.

Реструктуризація підприємств вугільної промисловості (виведення шахт із експлуатації) призвела до виникнення низки гострих екологічних проблем, серед яких важливе місце займають наслідки дегазації вуглепородних масивів з міграцією до земної поверхні метану, вуглекислого газу та ін. У процесі консервації шахт «мокрим» методом виникають неординарні газогідродинамічні ситуації, зумовлені надзвичайно склад-

ною структурою відпрацьованого простору та активною геодинамікою вугільно-породного масиву, що пов'язано з наявністю специфічних зон міграції газів, які є шляхами надходження метану у поверхневі відклади, ґрунтові води та атмосферне повітря шахтарських населених пунктів [Янукович и др., 2002].

Виявлення та прогнозування ділянок максимального скупчення вуглеводневих газів, зон їх надходження до земної поверхні, можливих проявів ГДЯ залишається до цього часу однією з найскладніших проблем гірничодобувної галузі. Такі прогнози ґрунтуються на вивченні геологічних чинників, що впливають на накопичення, зберігання та розподіл газів у породному масиві і літолого-фаціальні умови нагромадження осадових відкладів, палеогеотемпературний режим, типи й параметри тектонічної (неотектонічної та сучасної) дислокованості [Анциферов и др., 2004; Бондарчук, Чередніченко, 1971; Булат и др., 2008; Забигайло и др., 1974; 1983; Забигайло, 1978; Лукинов, Пимоненко, 2008]. У свою чергу, викидонебезпечні явища залежать від трьох природних чинників: газоносності, напруженого стану й фізико-механічних властивостей вугілля та вмісних порід.

Стан питання. Перші спеціальні дослідження умов і причин прояву раптових викидів вугілля й газу були проведені ще у 80-х роках XIX ст. після раптового викиду в 1879 р. на шахті «Аграпп-2» (Бельгія), у результаті якого загинули 122 шахтаря. Відтоді проблема викидів вугілля й газу стала предметом детальних досліджень. У нашій країні дослідження явищ раптових викидів вугілля й газу пов'язані з бурхливим розвитком вугільної промисловості перед Великою Вітчизняною війною та після її закінчення. У ті періоди інженери і вчені, виконуючи збільшення видобутку вугілля у Донецькому басейні, зіткнулися з проявами газодинамічних явищ значної потужності, кількість яких постійно зростала зі збільшенням глибин видобутку вугілля. Це викликало необхідність розробки методів попередження й боротьби з викидами вугілля, порід, газу, в тім числі буріння випереджувальних дегазаційних свердловин із земної поверхні і у підземних виробках [Савчук и др., 1987; Булат и др., 2008; Гуня, 2008; Тиркель и др., 2008].

Незважаючи на безсумнівні успіхи у розвитку теоретичних й наукових основ боротьби з небезпечними ГДЯ, проблема залишається нерозв'язаною. Кількість раптових викидів газу й порід зростає, що призводить до значних економічних збитків, а головне — до загибелі людей. За відсутності обґрунтованої теорії виникнення й розвитку ГДЯ орієнтування на окремі показники складу, властивостей, газонасичення, деформаційного напруження та тектонічної порушеності вугільних пластів і вмісних порід поки що не дало змоги розробити надійні методи прогнозування грізних явищ у гірничих виробках. Негативно позначається відсутність комплексних досліджень геологічних умов прояву різних ГДЯ, як тих, що відбулися під час проходки гірничих виробок, так і тих, що можуть бути передбачені в процесі геологорозвідувальних робіт. Результати таких досліджень мають бути основою для пояснення природи й механізму ГДЯ та відповідних прогнозів, оцінок місць їхніх проявів.

Таким чином, комплексне освоєння вугільних родовищ Донецького басейну, вирішення питань дегазації об'єктів гірничодобувної галузі, видобування, використання та утилізації метану, екологічної охорони довкілля, безпечного ведення гірничих робіт на діючих шахтних підприємствах потребують поглибленого вивчення геоструктури шахтних полів, їхньої газоносності на різних рівнях, у тім числі у приповерхневих умовах, обґрунтування науково-методичних основ пошуків промислових скупчень метану в нетрадиційних пастках як природного, так і техногенного походження. Необхідну інформацію можна отримати із впровадженням у пошуковий процес експресних, маловитратних методів досліджень. До таких належить розроблений у відділі геоекології та пошукових досліджень Інституту геологічних наук НАН України комплекс структурно-термо-атмогеохімічних досліджень (СТАГД), який впроваджений для прогнозування нафтогазоперспективних об'єктів у межах Дніпровсько-Донецького авлакогену, акваторії Чорного і Азовського морів, інших об'єктів.

Методика досліджень. В основу комплексу СТАГД покладено нові науково-методичні та прикладні розробки Інституту геологічних наук НАН України з удосконалення та впровадження в практику приповерхневих експресних методів прогнозування тектонічних зон підвищеної проникності (тріщинуватості, розущільнення) з метою вирішення пошукових та геологічних завдань. Такі зони, як канали енергомасоперенесення та шляхи газовиділення, включаючи радіоеманації, активно впливають на умови формування та зберігання покладів вуглеводнів, шляхи міграції до земної поверхні різних за складом й походженням флюїдів, у тім числі тих, що є індикаторами структур, ділянок підвищеної газоносності. Наукове обґрунтування

запропонованих методів досліджень та результати їх застосування детально висвітлені у публікаціях [Багрій, 2003; Багрій та ін. 2007; 2008]. Авторське право на роботу «Комплексна методика структурно-термоатмогідрогеохімічних досліджень (СТАГД)» зареєстровано Державним департаментом інтелектуальної власності Міністерства освіти і науки України (Свідоцтво на реєстрацію авторського права № 28176, дата реєстрації 31.03.2009 р., автори Багрій І. Д., Гожик П. Ф.; патент «Спосіб прогнозування родовищ корисних копалин», № 47419 від 25.12.2009 р., автор Багрій І. Д.).

У результаті вивчення та аналізу матеріалів й даних стосовно широкого кола проблем, пов'язаних з метаноносністю вугільних родовищ Донбасу, відділом геоекології та пошукових досліджень Інституту геологічних наук НАН України було визначено декілька репрезентативних площ для проведення комплексних СТАГД, зокрема Томашівську та Краснолиманську, ділянки в межах гірничого відводу шахти ім. О. Ф. Засядька. Мета досліджень — визначення у межах полів діючих шахт ділянок, об'єктів підвищеної газоносності та дегазації, картування зон геодинамічної активності як природного, так і техногенного походження і можливих проявів небезпечних газодинамічних явищ, оцінка геоекологічних умов. Для одержання необхідної результативності та ефективності запланованих досліджень їх основні обсяги були сконцентровані на ділянках у межах гірничого відводу шахти ім. О.Ф. Засядька. При цьому було враховано позитивний досвід застосування комплексу приповерхневих СТАГД з метою оцінки газоносності Томашівської площі (у межах полів шахт «Томашівська Північна» і «Томашівська Південна») [Багрій та ін., 2008].

Структурно-геологічне положення шахти ім. О. Ф. Засядька. В регіональному плані шахта розташована у центральній частині Донецько-Макіївського геолого-промислового району Донецького вугільного басейну, на крилі Кальміус-Торецької улоговини, в зоні її зчленування з Торезько-Сніжнянською синкліналлю. Шахта знаходиться в межах великого тектонічного блока, обмеженого зі сходу Чайкінською, із заходу — Ветківською флексурами, на півдні — системою диз'юнктивних порушень, що охоплює Коксовий, Мушкетовський, Французький насуви (рис. 1). У свою чергу, блок знаходиться у складних геотектонічних умовах, на перетині субширотного Південнодонецького, субмеридіонального Керченсько-Слов'янського та діагонального Волноваско-Чернухинського глибинних розломів [Анциферов и др., 2004; Багрій та ін., 2008; Тиркель и др., 2008].

В адміністративному відношенні гірничий відвід шахти розміщується на території Київського р-ну м. Донецьк, Червоногвардійського р-ну м. Макіївка і Ясинуватського р-ну Донецької обл.

Поле шахти ім. О. Ф. Засядька складено відкладами середнього карбону — світи C_2^5, C_2^6 і C_2^7 і частина світи C_3^1. Відклади представлені чередуванням різних за потужністю пісковиків, алевролітів, аргілітів, що вміщують порівняно малопотужні шари вапняків і вугілля. Породи карбону покриті молодшими утвореннями палеогенового та четвертинного віку. Вугленосність — 57 вугільних пластів (на час досліджень розробляли пласти m_3 і l_1).

Природною межею шахтного поля на заході є Ветківська флексура з поздовжніми насувами, на сході — вісь синкліналі північно-східного орієнтування у висячому крилі Григор'ївського насуву; на півдні — Семенівський та інші насуви субширотного простягання. В межах поля шахти розломи встановлені на глибинах 1100—1300 м. На більшій його частині газоносність вугільних пластів характеризується як помірна, перехідна до високої. Викидонебезпечними є пласти вугілля m_3, l_1, l_4, k_8 і вмісні пісковики (з глибин 400—600 м) [Гуня, 2008; Звягильский и др., 2004; Лукинов, Пимоненко, 2008].

Методика досліджень. Виходячи із геологічної будови, вугленосності та газоносності шахтного поля шахти ім. О.Ф. Засядька, необхідності упереджувального прогнозу небезпечних ГДЯ під час гірничодобувних робіт та виявлення місць значних скупчень вуглеводневих газів (метану), які можна в подальшому розглядати як об'єкти дегазації, видобутку й утилізації метану, в межах шахтного поля була визначена ділянка проведення комплексних приповерхневих СТАГД.

Ділянка розташована у північно-західній частині шахтного поля. Загальна площа ділянки 3,4 км^2. Шахтою «Бутівська» протягом 1954—1983 рр. відпрацьовано вугільний пласт n_1, який в межах ділянки залягає на глибині 350—400 м. З наближенням до Ветківської структури під час видобувних робіт неодноразово відбувались вибухи газів й самозаймання вугілля. Вугільний пласт m_3 розробляють на глибинах 1050—1200 м. На захід від ділянки розміщується Ветківська флексура, ускладнена Ветківським насувом. Близько від флексури передбачають наявність зони, небезпечної за ГДЯ. Під час гірничих робіт по пласту m_3 було розкрито декілька малоампліт-

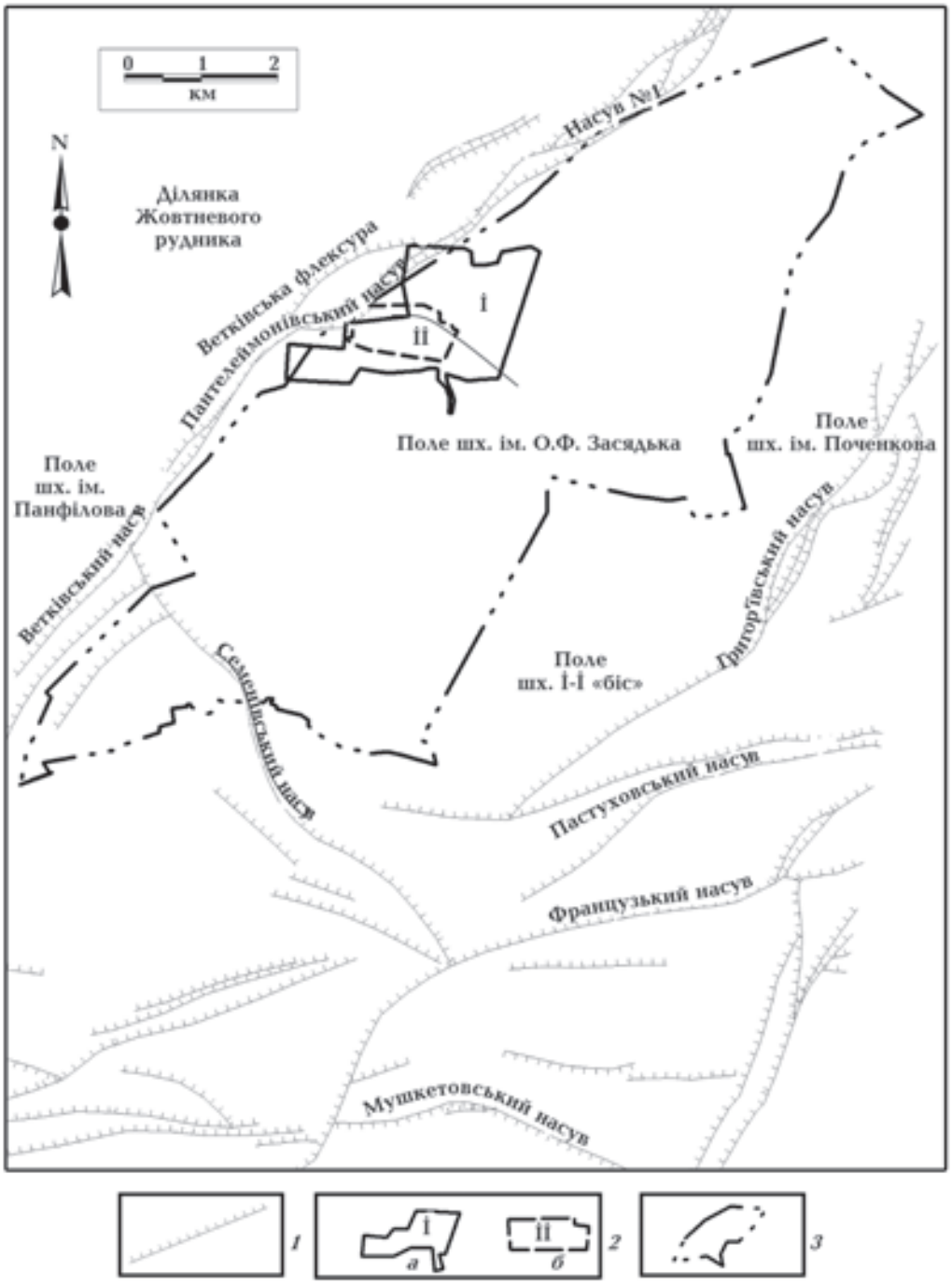

Рис. 1. Структурно-тектонічна схема шахтного поля шх. ім. О. Ф. Засядька та суміжних територій: *1* — основні тектонічні порушення (насуви); *2* — ділянки СТАГД та їх номери (*а* — Північна, *б* — деталізаційних досліджень); *3* — контур шахтного поля.

тудних (2—3 м) розривних порушень, субпаралельних насувів північно-східного простягання (центральна частина ділянки), зон тріщинуватості, зім'яття.

Протягом 2007—2009 рр. проведені СТАГД за трьома послідовними етапами.

На першому етапі, підготовчому (передпольовому), була виконана переінтерпрета-

ція матеріалів, що стосуються особливостей структурно-тектонічної будови та газоносності шахтного поля шахти ім. О. Ф. Засядька та визначених ділянок робіт, створені комп'ютерні бази фактографічних і картографічних даних, проведені дешифрування та інтерпретація матеріалів космічних зйомок (МКЗ), побудовані уточнені структурні карти, карти розломно-блокової тектоніки. При цьому було використано плани гірничих робіт з окремих вугільних пластів, надані адміністрацією цієї шахти.

Основною метою дешифрування та інтерпретації матеріалів космічних зйомок на окремих ділянках СТАГД було виділення й картування лінеаментів, кільцевих структур, уточнення структурно-тектонічного плану проектних об'єктів польових досліджень, аналіз просторового співвідношення неотектонічних структур, а також структур новітньої активізації зі структурами, що закартовані за даними геолого-геофізичних і пошуково-розвідувальних робіт, виділення розломних зон підвищеної тріщинуватості як можливих каналів чи шляхів міграції газових флюїдів. Під час дешифрування використовували космічні знімки різних типів, переважно регіонального та локального рівнів генералізації: фотографічні космознімки КАТЕ-200 та МКФ-6, сканерні космознімки — Landsat MSS та Landsat ETM. Обробку та інтерпретацію матеріалів космічних зйомок виконували із застосуванням комп'ютерної техніки й спеціального програмного комплексу ERDAS Imagine. Результати дешифрування МКЗ на території шахтного поля шахти ім. О. Ф. Засядька відображені на рис. 2.

На завершальній стадії підготовчого етапу СТАГД, з урахуванням картографічних відображень уточнених структурно-тектонічних побудов і результатів структурного дешифрування та інтерпретації МКЗ, вносили корективи у розміри й межі ділянок польових робіт, розраховували параметри мережі пунктів спостережень СТАГД, місця розташування пунктів. Цю процедуру здійснювали у комп'ютерному варіанті за програмою GPS Track Maker із подальшим винесенням на великомасштабну топографічну основу. Координатну прив'язку проектних пунктів спостережень забезпечували за допомогою персонального навігатора GPS-системи Garmin GPS-12, що гарантує вихід виконавців СТАГД на проектні пункти на місцевості.

Другий етап СТАГД — польові роботи в складі: газогеохімічні дослідження (радон, торон, вуглекислий газ, гелій, водень), термометричні дослідження, газогеохімічна зйомка за вільними вуглеводнями (метан, етан, пропан, бутан, ізобутан, етилен, пропілен, неопентан, ізопентан, пентан, гексан). Весь комплекс методів СТАГД (інструментальні виміри, відбір проб для проведення лабораторно-аналітичних досліджень) виконували на одному й тому самому пункті спостережень, в одному й тому самому шпурі, пробуреному на глибину 0,8—1,0 м діаметром 20—25 м.

Польові роботи були виконані на Північній ділянці, визначеній на підготовчому етапі СТАГД (рис. 2). Досліджування здійснювали за мережею пунктів спостережень, розміщених на профілях з такими показниками: відстань між профілями 100—200 м, крок між пунктами на профілі 100 м.

За даними наукових і теоретичних розробок, а також виходячи з багаторічного досвіду впровадження атмогеохімічних методів з метою прогнозування розломних зон підвищеної проникності гірських порід, найінформативніші результати можуть бути одержані за комплексування еманаційних і газогеохімічних методів [Багрій, 2003; Багрій та ін., 2007]. Це положення визначало методичні особливості проведення газогеохімічних досліджень у комплексі СТАГД.

Лабораторно-аналітичні дослідження газових проб (визначення вмісту вуглекислого газу, гелію, водню, метану та його гомологів), відібраних під час польових робіт, виконували хроматографічним комплексом та аналітичним комп'ютерним комплексом обробки хроматограм ToolBox.

На третьому етапі, згідно з методикою, проводили:

- математико-статистичну обробку даних, визначення статистичних характеристик у рядах даних (у тім числі аномальних й фонових значень);
- комплексну інтерпретацію результатів польових робіт й лабораторно-аналітичних досліджень (з обов'язковим використанням матеріалів підготовчого етапу СТАГД);
- районування території досліджень за результатами комплексної інтерпретації всіх даних і матеріалів, створення відповідних картографічних моделей;
- комплексну оцінку результатів СТАГД з позицій їхньої інформативності щодо перспективності вивчених об'єктів на видобуток метану як енергетичної сировини та виділення зон можливих проявів небезпечних ГДЯ за обґрунтованими критеріями.

Математико-статистична обробка вибірок даних передбачала розрахунок двох головних

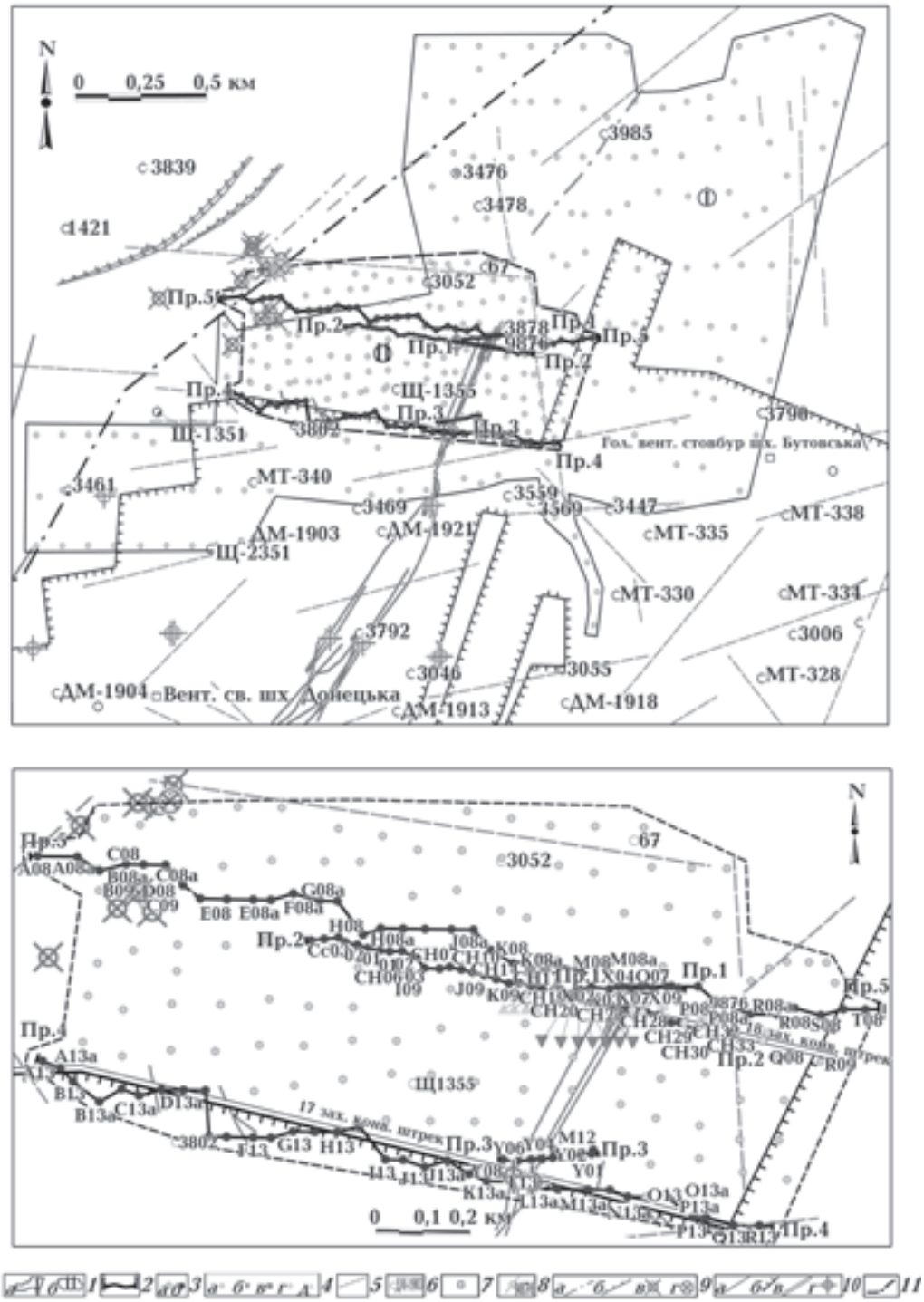

Рис. 2. Карта і план просторового розташування ділянок і пунктів спостереження СТАГД у межах гірничого відводу шахти ім. О. Ф. Засядька: *1* — ділянки СТАГД та їх номери (I — «Північна», II — деталізаційних досліджень); *2* — профілі спостережень та їх номери; *3* — пункти спостережень СТАГД (*а* — площинних, *б* — профільних); *4* — пункти атмогеохімічних досліджень у гірничій виробці (18 західний конвеєрний штрек) (*а* — відбір проб газу у повітрі штреку, *б* — відбір проб газу із стінок штреку, *в* — дегазаційні свердловини, із яких відбирали проби газу та їх номери, *г* — відбір проб вугілля для вакуумної дегазації, *д* — відбір проб шламу із дегазаційної свердловини); *5* — лінеаменти за даними МАКЗ; *6* — свердловини та їх номери; *7* — шахтний стовбур; *8* — тектонічне порушення за даними св. 3985; *9* — умовні позначення з плану гірничих робіт по пласту n_1 (*а* — очікуваний насув, *б* — насуви, *в* — осередки ліквідованих пожеж, *г* — місця вибуху газу); *10* — умовні позначення з плану гірничих робіт по пласту m_3 (*а* — розривні порушення та зони тріщинуватості за результатами проходки, *б* — межа відпрацьованої частини пласта, *в* — проходка станом на 05.2009 18-й і 17-й західні конвеєрні штреки), *г* — місця раптових викидів газу, вугілля, порід); *11* — межа шахтного поля шахти ім. О. Ф. Засядька.

параметрів, потрібних для визначення фонових і мінімально-аномальних значень: середнього арифметичного ($\bar{x}$) та середнього квадратичного відхилення (S) за відомими формулами. Геодинамічну активність об'єкта досліджень визначали за інтегральним коефіцієнтом показників вмісту радону, торону та вуглекислого газу (K_i):

$$K_i = \frac{\left(\frac{C_{\text{Rn}}}{C_{\phi_{\text{Rn}}}} + \frac{C_{\text{Tn}}}{C_{\phi_{\text{Tn}}}} + \frac{C_{\text{CO}_2}}{C_{\phi_{\text{CO}_2}}} \right)}{3}, \qquad (1)$$

де C_{Rn}, C_{Tn}, C_{CO_2} — концентрація радону, торону, вуглекислого газу в пункті спостережень; $C_{\phi_{\text{Rn}}}$, $C_{\phi_{\text{Tn}}}$, $C_{\phi_{\text{CO}_2}}$ — фонове значення вмісту радону, торону, вуглекислого газу на території досліджень; 3 — кількість компонентів в інтегральному коефіцієнті.

За наявності даних до інтегрального коефіцієнта можуть бути включені дані щодо гелію та водню.

Графічне відображення показників (значень) K_i дає змогу виконати геодинамічне районування території досліджень з виділенням ділянок з найменшою проникністю гірських порід (мінімальні значення K_i) та зонами розущільнення і підвищеної флюїдопроникності (контрастні значення K_i).

Автор вважає, що вибір як основи для інтерпретації даних приповерхневих структурно-термоатмогеохімічних досліджень карти розподілу показників значень K_i є найбільш аргументованим й доцільним. Така карта відображає блокову структуру території, що вивчається, а блокова структура чи будова об'єкта досліджень (у цьому випадку шахтного поля) є визначальною для побудови відповідної геодинамічної моделі та оцінки в її структурі напрямків трасування чи орієнтування в просторі, масштабів, неотектонічної (сучасної) активності окремих блоків, зон, ділянок. У свою чергу, особливості розподілу та взаємного впливу цих зон і блоків можуть відігравати основну роль у розподілі газової складової вугленосних районів локальних ділянок.

З метою визначення головних особливостей розподілу показників вмісту (концентрації чи розсіювання) вуглеводневих газів був використаний у дещо спрощеному вигляді інтегральний коефіцієнт вмісту суми гомологів вуглеводнів:

$$C_{\text{вв}} = \sum C_{i_{(C_2-C_6)}}, \qquad (2)$$

де $C_{i_{(C_2-C_6)}}$ — сума вмісту вуглеводневих газів у пункті спостережень: від етану (C_2) до гексану (C_6).

Детальніше методику обробки та інтерпретації даних СТАГД викладено у публікаціях І. Д. Багрія та співавторів [Багрій та ін., 2007; 2008].

Спеціальні атмогеохімічні дослідження. Вперше на шахті ім. О. Ф. Засядька був виконаний комплекс атмогеохімічних досліджень у гірничих виробках — 18-му західному конвеєрному штреку, конвеєрному ходнику східної уклонної лави пласта m_3, вентиляційному ходнику східної уклонної лави m_3. Мета цих досліджень:

- зіставлення даних СТАГД щодо розподілу вуглеводневих газів у підґрунтовому повітрі з даними щодо розподілу тих самих газів у підземному просторі (у повітрі та в стінках гірничої виробки);
- визначення зон і місць можливого прояву небезпечних ГДЯ під час проведення гірничих робіт;
- визначення зон, блоків, структур гірських порід, що характеризуються відносною стабільністю і які можна розглядати як тіла підвищеної газоємності (метан).

Одночасно вирішували питання особливостей змін складу та концентрації газів за простяганням гірничої виробки (у напрямку вибою) в умовах примусової вентиляції, зміни складу та концентрації газів у вугільному пласті після його розкриття гірничою виробкою; складу і концентрації газів на стадії дегазації вугільного пласта.

Результати досліджень. Проведення комплексних СТАГД дали змогу виявити й закартувати головні особливості у розподілі газів у підґрунтовому повітрі та температурних показників підґрунтового шару порід на території ділянки Північна (рис. 2).

За результатами статистичної обробки рядів споріднених даних газогеохімічних досліджень (визначення особливостей розподілу концентрацій радону, торону, вуглекислого газу у підґрунтовій атмосфері) та вивчення міри їхньої корелятивності було розроблено узагальнюючий показник — інтегральний коефіцієнт K_i. Карту розподілу значень K_i використано як основу для побудови вихідних прогностичних картографічних моделей.

За результатами вивчення особливостей температурного поля в межах ділянок СТАГД зроблено достатньо обґрунтовані висновки: аномальні значення температурних показників приурочені до тектонічно стабільних блоків, ділянок, де можливе накопичення вуглеводневих газів; зони сучасної тектонічної активності характеризуються фоновими значеннями температури.

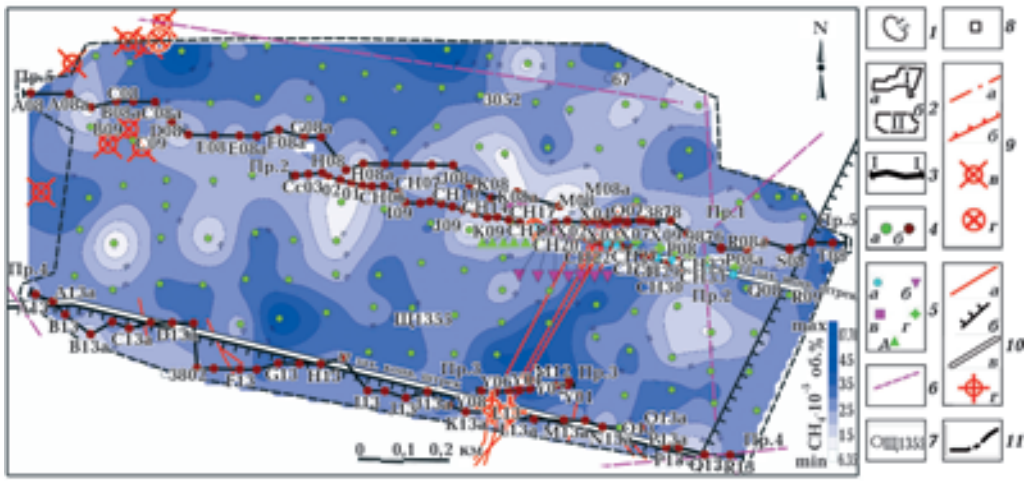

Рис. 3. Карта розподілу показників вмісту метану ($CH_4 \cdot 10^{-5}$ %) у підгрунтовому шарі повітря: *1* — ізолінії показників вмісту метану; *2* — межа ділянки деталізаційних досліджень; *3* — профілі спостережень та їх номери; *4* — пункти спостережень СТАГД (*а* — площинних, *б* — профільних); *5* — пункти атмогеохімічних досліджень у гірничій виробці (18 західний конвеєрний штрек) (*а* — відбір проб газу у повітрі штреку, *б* — відбір проб газу із стінок штреку, *в* — дегазаційні свердловини, із яких відбирали проби газу та їх номери, *г* — відбір проб вугілля для вакуумної дегазації, $_Д$ — відбір проб шламу із дегазаційної свердловини); *6* — лінеаменти за даними МАКЗ; *7* — свердловини та їх номери; *8* — шахтні стволи; *9* — умовні позначення з плану гірничих робіт по пласту n_1 (*а* — очікуваний насув, *б* — насуви, *в* — осередки ліквідованих пожеж, *г* — місця вибуху газу); *10* — умовні позначення з плану гірничих робіт по пласту m_3 (*а* — розривні порушення та зони тріщинуватості за результатами проходки, *б* — відпрацьованої частини пласта, *в* — проходка станом на 05.2009 18-й і 17-й західні конвеєрні штреки, *г* — місця раптових викидів газу, вугілля, порід); *11* — межа шахтного поля шахти ім. О. Ф. Засядька.

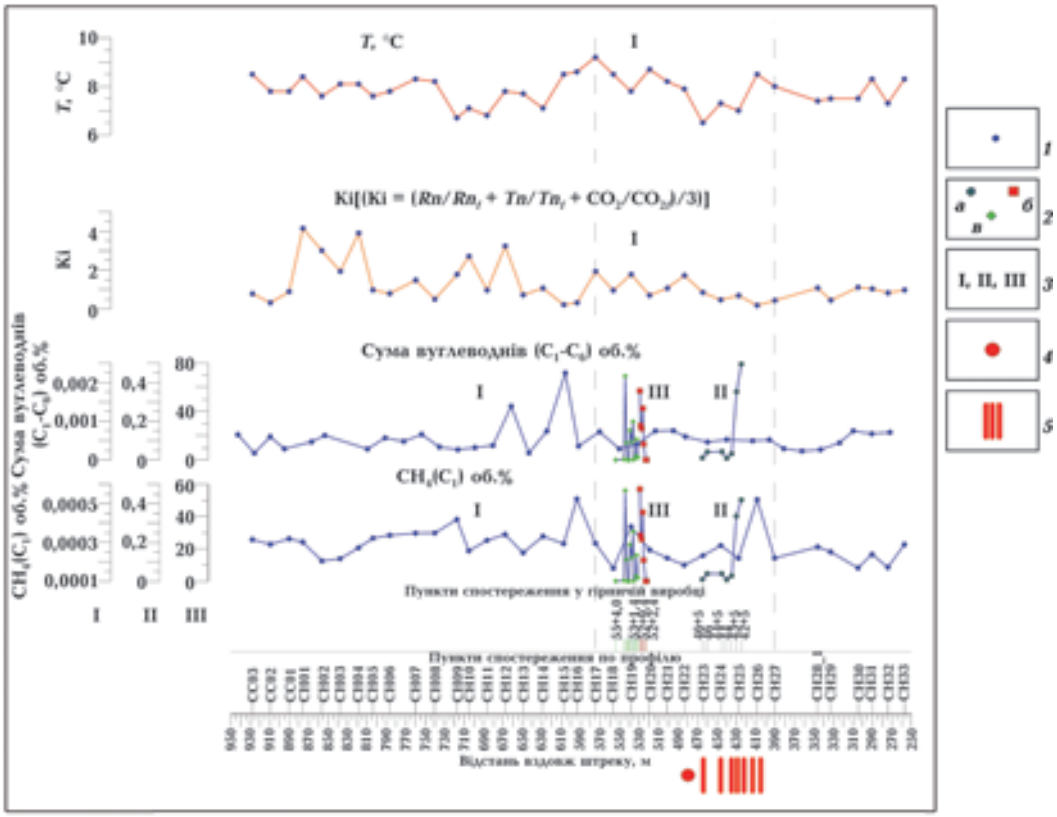

Рис. 4. Зіставлення даних профільних поверхневих структурно-термоатмогеохімічних досліджень по профілю 2—2 і атмогеохімічних досліджень у 18-му західному конвеєрному штреку: *1* — пункти спостережень СТАГД; *2* — пункти відбору проб газу із (*а* — стінок штреку; *б* — дегазаційної свердловини 1 (у вибої штреку); *в* — дегазаційної свердловини 2 (у вибої штреку)); *3* — номери шкал, за якими визначали показники (I — поверхневі дослідження, II — дослідження у стінках штреку, III — дослідження у дегазаційних свердловинах); *4* — проекція на земну поверхню місця раптового викиду газу у 18-му західному конвеєрному штреку (пласт m_3); *5* — проекція на земну поверхню розривних порушень, виявлених під час проходки штреку. У відсоках виражено об'ємну частку вуглеводнів.

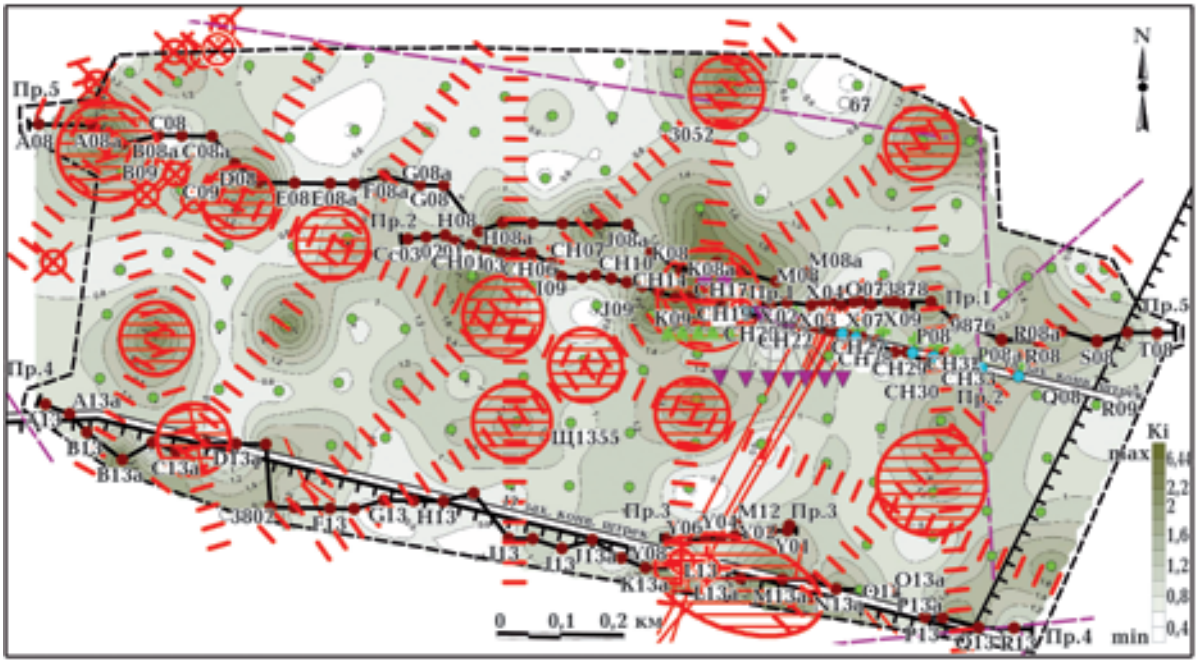

Рис. 5. Карта зон тріщинуватості та розущільнення гірських порід, ділянок можливих проявів ГДЯ на ділянці деталізаційних досліджень (на основі карти розподілу показників значень та інтегрального коефіцієнта K_i).

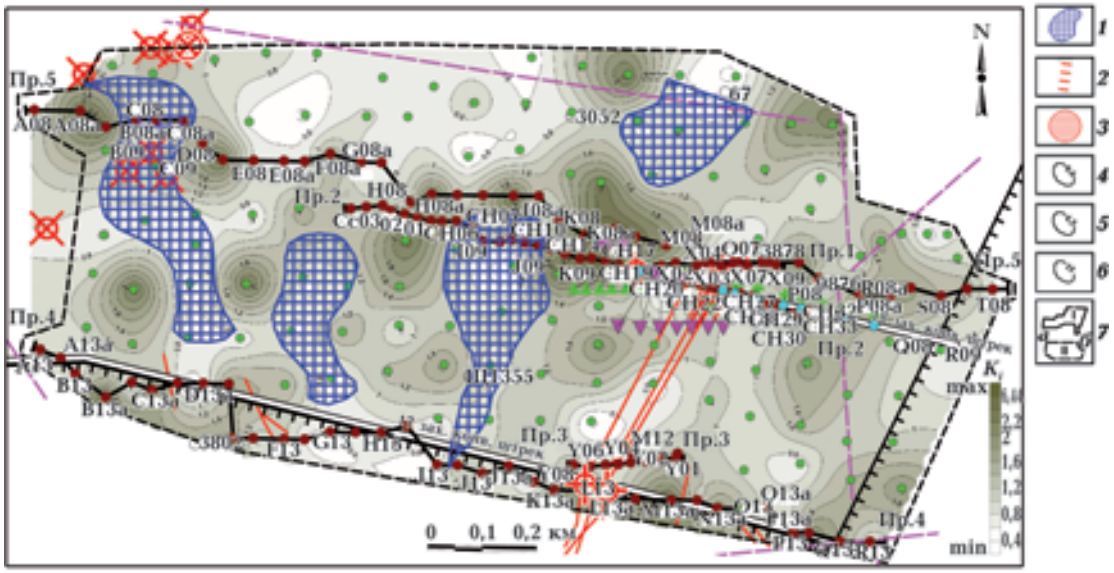

Рис. 6. Карта ділянок, перспективних на виявлення скупчень вуглеводневих газів (метану) на ділянці деталізаційних досліджень (на основі карти розподілу показників значень і інтегрального коефіцієнта K_i): *1* — ділянки, перспективні на пошуки вуглеводнів; *2* — зони тріщинуватості та розущільнення гірських порід за даними СТАГД; *3* — вузли перетину геодинамічно активних зон (ділянки можливих проявів ГДЯ); *4* — ізолінії показників значень K_i; *5* — ізолінії температурних показників; *6* — ізолінії показників вмісту метану; *7* — ділянки деталізаційних досліджень. Інші позначення див. на рис. 3.

Під час обробки та інтерпретації даних польових досліджень 2007 р. в умовах проходки 18-го західного конвеєрного штреку стався раптовий викид газу, вугілля і порід. Через прояв цього ГДЯ були проведені деталізаційні площинні та профільні СТАГД з метою можливого відображення небезпечного явища у розподілі чи характері газогеохімічних й температурних полів (рис. 2). Дані СТАГД та їх інтерпретація покладені в основу комплексу вихідних карт,

з яких основними є: карта розподілу значень інтегрального коефіцієнта K_i (Rn+Tn+CO_2) з відображенням концентрацій водню і гелію; карта розподілу температурних показників підґрунтового шару порід; карта розподілу вмісту метану у підґрунтовому повітрі (рис. 3); карта розподілу суми вмісту вуглеводневих газів (етан, пропан, бутан, ізобутан, етилен, ізопентан, пентан, гексан). Для побудови вихідних карт як основу використано плани гірничих робіт шахти ім. О. Ф. Засядька.

Після проведення картографічних побудов для визначення взаємозв'язку між виміряними параметрами було виконано кореляційній аналіз даних СТАГД (див. таблицю). Значущість коефіцієнта кореляції залежить від кількості проб у вибірці та коефіцієнта значущості. Для 180 п.с. та різного рівня значущості α встановлено коефіцієнт парної кореляції: значущий (α=0,001) — від ≥0,24; середній (α=0,01) — від ≥0,19 до <0,24; слабкий (α=0,05) — від >0,16 до <0,19.

Для вирішення питань методичного змісту та обґрунтованого прогнозування ділянок, блоків, зон можливого накопичення метану та інших вуглеводнів, а також прогнозування місць можливих проявів ГДЯ на деталізаційній ділянці були виконані профільні СТАГД — усього 5 профілів (див. рис. 2). Розподіл на профілях даних СТАГД (показників концентрації у підґрунтовому повітрі еманаційних газів і вільних вуглеводнів, вуглекислого газу, температурних показників, значень інтегрального коефіцієнта та ін.) дав можливість уточнити результати площинних досліджень, розміщення зон можливої активізації геодинамічних процесів і приурочених до їх перетину проявів ГДЯ, встановити ділянки накопичення метану та інших вуглеводневих газів. У цілому профільні дослідження підтвердили ситуації щодо розподілу газових компонентів, які були визначені за площинних досліджень, що засвідчує узгодженість результатів різних варіантів реалізації методів СТАГД і відтворюваність даних випробування — лабораторно-аналітичних робіт.

Основні висновки:

• вперше на території діючої шахти ім. О. Ф. Засядька виконано комплекс приповерхневих площинних і профільних СТАГД з метою вивчення особливостей розподілу вуглеводневих газів у підґрунтовому шарі повітря, уточнення структурно-тектонічної будови шахтного поля, виділення ділянок, перспективних на пошуки вуглеводнів (метан), геодинамічних зон (зон розущільнення гірських порід) та ділянок можливих проявів ГДЯ;

• вперше створено комп'ютерні картографічні моделі газогеохімічних (еманаційні гази, вуглеводневі гази) і температурних полів; виконана їх наукова інтерпретація (з використанням картпланів гірничих робіт шахти ім. О. Ф. Засядь-

Коефіцієнт парної кореляції температурних, еманаційних і газогеохімічних показників деталізаційних СТАГД шахти ім. О. Ф. Засядька

	T	QRn	QTn	CO_2	$CH_4\cdot10^{-5}$	$C_2H_6\cdot10^{-6}$	$C_2H_4\cdot10^{-6}$	$C_3H_8\cdot10^{-6}$	$iC_4H_{10}\cdot10^{-6}$	$nC_4H_{10}\cdot10^{-6}$	$iC_5H_{12}\cdot10^{-6}$	$nC_5H_{12}\cdot10^{-6}$
T	1,00											
QRn	0,17	1,00										
QTn	0,04	0,24	1,00									
CO_2	0,02	0,13	0,04	1,00								
$CH_4\cdot10^{-5}$	–0,05	–0,50	–0,43	–0,21	1,00							
$C_2H_6\cdot10^{-6}$	0,11	–0,01	–0,11	–0,06	0,63	1,00						
$C_2H_4\cdot10^{-6}$	0,07	–0,02	–0,09	–0,04	0,57	0,90	1,00					
$C_3H_8\cdot10^{-6}$	0,13	0,03	–0,06	–0,10	0,50	0,87	0,79	1,00				
$iC_4H_{10}\cdot10^{-6}$	–0,01	–0,04	–0,13	–0,09	0,54	0,78	0,94	0,69	1,00			
$nC_4H_{10}\cdot10^{-6}$	0,04	–0,03	–0,14	–0,09	0,57	0,86	0,96	0,78	0,97	1,00		
$iC_5H_{12}\cdot10^{-6}$	0,04	–0,07	–0,16	–0,04	0,56	0,81	0,92	0,70	0,94	0,96	1,00	
$nC_5H_{12}\cdot10^{-6}$	0,06	–0,06	–0,16	–0,03	0,55	0,82	0,91	0,72	0,92	0,95	0,99	1,00

ка) і показано практичне значення виявлених особливостей й характеристик шахтного поля;

• встановлено просторовий і генетичний зв'язок результатів приповерхневих СТАГД й атмогеохімічних досліджень у гірничих виробках з особливостями геолого-структурної будови шахтного поля, в тому числі просторового розподілу аномальних концентрацій і фонових полів еманаційних та вуглеводневих газів залежно від активності тектонічних структур і місць прояву в зонах їх впливу небезпечних ГДЯ (рис. 4);

• у просторовому розподілі газових компонентів (еманаційні гази — вуглеводневі гази) встановлено латеральну геохімічну зональність, наявність якої може бути використана для інтерпретації та виділення геодинамічно активних і стабільних зон та блоків;

• вперше на полі діючої шахти ім. О. Ф. Засядька за результатами комплексу приповерхневих малозатратних експресних методів СТАГД у вигляді картографічних моделей оцінено ділянки досліджень щодо їх перспективності на виявлення скупчень вуглеводневих газів (метану) (рис. 5), а також виділено систему геодинамічно активних зон, перетин яких класифіковано як ділянку можливого прояву ГДЯ (рис. 6);

• створено фактографічні і картографічні комп'ютерні бази даних і результатів СТАГД, атмогеохімічних досліджень у гірничих виробках і матеріалів шахти ім. О. Ф. Засядька (планів гірничих робіт, геологічних розрізів та ін.);

• внесено уточнення в методику СТАГД стосовно модифікацій польових робіт, обробки та інтерпретації одержаних результатів у гірничо-геологічних умовах діючих вугільних шахт;

• доведено доцільність та ефективність впровадження методики СТАГД у комплексі з атмогеохімічними дослідженнями у гірничих виробках для уточнення структурних моделей кам'яновугільних родовищ, виділення в їхніх межах об'єктів, перспективних на пошуки скупчень вуглеводневих газів (передусім метану), визначення місць закладання з поверхні дегазаційних свердловин, картуванні зон підвищеної дегазації шахтних полів і можливих проявів ГДЯ, оцінки екологічного стану територій та вирішення інших прикладних проблем і завдань.

Рекомендації щодо впровадження методів СТАГД при вивченні газоносності вугільних родовищ. 1. Під час проведення гірничих робіт з підготовки до видобутку і власне видобутку вугілля (підробки вугільних пластів) слід застосовувати комплекс приповерхневих експресних методів СТАГД. Ділянки СТАГД доцільно розташовувати уздовж гірничих виробок, як діючих, так й тих, що проектуються. При цьому ділянка СТАГД має охоплювати і діючу частину гірничої виробки, і заплановану. Такий підхід дасть змогу в першому випадку зіставити результати поверхневих досліджень з даними підробки вугільного пласта і розподілом газонасичення масиву гірських порід та гірничої виробки, у другому — виконати обґрунтовану інтерпретацію даних СТАГД і дати прогноз щодо очікуваних структурно-тектонічних та геолого-гірничих умов. Роботи необхідно виконувати як у площинному, так і профільному варіанті. Головна мета — упереджено оцінити рівень геодинамічного напруження гірських порід і можливість прояву ГДЯ під час підробки вугільних пластів. Не виключено, що за результатами таких робіт можуть бути запропоновані місця закладання з поверхні дегазаційних свердловин.

2. СТАГД слід виконувати в декілька етапів: перший, рекогносцирувальний, масштаб близько 1:10 000, мережа пунктів спостережень 100×100 м — 75×75 м; другий, великомасштабний (близько 1:5 000 і більше), з мережею пунктів спостережень 50×50 м. На деталізаційних профілях уздовж діючих гірничих виробок та їх проектного продовження рекомендований крок спостережень від 10 до 20 м.

3. Методи СТАГД можуть бути застосовані для оцінки полів відпрацьованих, виведених із експлуатації шахт з метою прогнозування ділянок природних чи техногенних структур як об'єктів промислового видобутку метану. Позитивний досвід таких робіт одержаний під час проведення СТАГД на Томашівській площі [Багрій та ін., 2008].

Список літератури

Анциферов А. В., Тиркель М. Г., Хохлов М. Т., Привалов В. А., Голубев А. А., Майборода А. А., Анциферов В. А. Газоносность угольных месторождений Донбасса. — Киев: Наук. думка, 2004. — 230 с.

Багрій І. Д. Прогнозування розломних зон підвищеної проникності гірських порід для вирішення геоекологічних та пошукових задач. — Київ: Ін-т геол. наук НАН України, 2003. — 149 с.

Багрій І. Д., Гладун В. В., Гожик П. Ф. Нафтогазоперспективні об'єкти України // Прогнозування нафтогазоперспективних об'єктів Дніпровсько-Донецької газонафтоносної області з застосу-

ванням комплексу нетрадиційних приповерхневих методів досліджень. — Київ: Варта, 2007. — С. 135—183.

Багрій І., Почтаренко В., Дубосарський В., Мамишев І., Земський Д. Застосування комплексу приповерхневих структурно-термоатмогеохімічних методів (СТАГД) з метою оцінки газоносності вугільних родовищ Донбасу та вирішення геоекологічних проблем (на прикладі Томашівської площі) // Геолог України. — 2008. — № 3. — С. 47—57.

Бондарчук В. Г., Чередніченко О. І. Про природу раптових викидів вугілля, порід та газу в шахтах Донбасу // Доп. АН УССР. Сер. Б. — 1971. — № 10. — С. 870—873.

Булат А. Ф., Звягильский Е. Л., Лукинов В. В. Углепородный масив Донбасса как гетерогенная среда. — Киев: Наук. думка, 2008. — 411 с.

Гуня Д. П. Обґрунтування параметрів фільтрації метану з підробленого вуглепородного масиву в свердловини: Автореф. дис. … канд. техн. наук. — Дніпропетровськ, 2008. — 20 с.

Забигайло В. Е. Геологические основы теории прогноза выбросоопасности угольных пластов и горных пород. — Киев: Наук. думка, 1978. — 164 с.

Забигайло В. Е., Лукин В. В., Широков А. З. Выбросоопасность горных пород Донбасса. — Киев: Наук. думка, 1983. — 288 с.

Забигайло В. Е., Широков А. З., Белый И. С. Геологические факторы выбросоопасности пород в Донбассе — Киев: Наук. думка, 1974. — 270 с.

Звягильский Е. П., Сукачев А. Н., Бокий Б. В. Опыт исследования низкоуглеродной газовой составляющей шахтопластов шахты им. А. Ф. Засядько с целью безопасной добычи угля. — Севастополь: Вебер, 2004. — 40 с.

Іванова А. В. Газоносність вугленосної формації карбону Донбасу // Геол. журн. — 2006. — № 4. — С. 382—386.

Лукинов В. В., Пимоненко Л. И. Тектоника метаноугольных месторождений Донбасса. — Киев: Наук. думка, 2008. — 352 с.

Майданович И. А., Радзивилл А. Я. Особенности тектоники угольных бассейнов Украины. — Киев: Наук. думка, 1984. — 120 с.

Савчук В. С., Куделя Ю. А., Майданович И. А. Состояние и перспективы разработок по прогнозированию динамических явлений в угольных шахтах. — Киев, 1987. — 53 с. — (Препр. / АН УССР, Ин-т геол. наук; 87—43).

Тиркель М. Г., Анциферов В. А., Глухов А. А. Изучение газоносности угленосных формаций. — Донецк: Вебер (Донец. отд-ние), 2008. — 208 с.

Янукович В. Ф., Азаров Н. Я., Алексеев А. Д., Анциферов А. В., Питаленко Е. И. Решение геоэкологических и социальных проблем при эксплуатации и закрытии угольных шахт. — Донецк: ООО «Алан», 2002. — 480 с.