

УДК 550.8.05

С. Г. АНІКЕСЬ¹, О. Д. ШУРОВСЬКИЙ²¹Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15; тел. +38(034)2727125, ел. пошта pngg@nung.edu.ua²Прикарпатське державне підприємство “Спецгеологорозвідка”, Україна, 76007, м. Івано-Франківськ, вул. Урожайна, 7

ПРОГНОЗУВАННЯ НАФТОГАЗОПЕРСПЕКТИВНИХ ДІЛЯНОК У МЕЖАХ ПІВДЕННО-ЗАХІДНОЇ ЧАСТИНИ СРІБНЕНСЬКОЇ ДЕПРЕСІЇ ДНІПРОВСЬКО-ДОНЕЦЬКОЇ ЗАПАДИНИ ЗА ДАНИМИ ГРАВІРОЗВІДКИ

Мета. Метою роботи є інтерпретація гравіметричних матеріалів з використанням даних сейсморозвідки для виявлення зон розуцільнення у товщах візейських карбонатів Срібненської депресії Дніпровсько-Донецької западини. Ці зони ймовірно пов'язані з розвитком перспективних на поклади вуглеводнів масивів органогенних вапняків. **Методика.** Методика досліджень полягає в інтерпретації локальних аномалій поля сили тяжіння масштабу 1:50000, матеріалів детального високоточного гравітаційного знімання та у моделюванні розподілу густин у межах товщ візейських карбонатів по профілях і ділянках, де проведено сейсмічну розвідку. Гравітаційне моделювання виконано за допомогою авторських комп'ютерних технологій рішення 2D і 3D обернених задач гравірозувідки. **Результати.** За фондовими гравіметричними матеріалами побудовано карти локальних аномалій поля сили тяжіння. Виявлено низку від'ємних локальних аномалій, пов'язаних з пастками вуглеводнів. За матеріалами профільних високоточних гравіметричних спостережень по сейсмічних профілях виконано моделювання розподілу густин у межах карбонатної “плити”. За результатами комп'ютерної інтерпретації детальних площинних гравіметричних спостережень масштабу 1:10000, які проведено на Гнідинсько-Білоусівській площі, побудовано тривимірну модель розподілу густини у межах візейських карбонатів. За результатами 2D і 3D гравітаційного моделювання виявлено зони розуцільнених карбонатів, які тяжіють до піднятих ділянок поверхні карбонатної “плити” і до ділянок підвищеної товщини карбонатів, у межах яких, за даними сейсморозвідки, прогнозовано розвиток біогермних споруд. У тривимірній детальній густинній моделі, крім зон розуцільнення ізометричної або складної форми, виявлено кільцеві аномалії розуцільнення, що оточують ущільнені карбонати. Результати моделювання використано для дослідження перспектив Гнідинсько-Білоусівської площі ДДЗ на нафтогазоносність. **Наукова новизна.** Показано, що у складних геолого-геофізичних умовах застосування високоточної гравірозувідки і комп'ютерних технологій інтерпретації її матеріалів є недорогим і геологічно ефективним інструментом вирішення завдань детального розчленування за густиною об'єктів незначної потужності в об'ємі і по розрізу, навіть, на великих глибинах (більше ніж 4000 м). **Практична значущість.** Встановлено, що комп'ютерна переінтерпретація фондових кондиційних гравіметричних карт масштабу 1:50000 значно підвищує їх інформативність та може бути основою для виявлення нових ділянок, перспективних на пошуки і розвідку родовищ нафти і газу. Детальне тривимірне гравітаційне моделювання дало змогу окреслити перспективні густинні аномалії: локальні зони розуцільнення та зони ущільнення, що обрамлені аномаліями розуцільнення.

Ключові слова: біогермні споруди, розуцільнення карбонатів, високоточна гравірозувідка, сейсморозвідка, гравітаційне поле, трансформації, локальні аномалії поля сили тяжіння, геогустинне моделювання.

Вступ

Для пошуково-розвідувальних робіт на скупчення вуглеводнів важливо визначення характеру відображення будови геологічного розрізу по площі досліджень в аномальному гравітаційному полі. Зокрема, встановлення зв'язку між зонами підвищеної загальної потужності візейських карбонатів і зонами розуцільнення у межах карбонатної “плити” та локальними аномаліями поля сили тяжіння у межах Срібненської депресії ДДЗ сприятиме ефективності пошуку і розвідки перспективних на нафтогазоносність масивів органогенних вапняків підвищеної пористості.

На Гнідинсько-Білоусівській площі ДДЗ Прикарпатським ДП “Спецгеологорозвідка” та Івано-Франківським національним технічним університетом нафти і газу у 2003–2005 рр. виконано переінтерпретацію кондиційної гравітаційної зйомки масштабу 1:50000 та проведено високоточні гравіметричні спостереження по двох сейсмічних профілях СП-272 і СП-270 з кроком у 50 м з похибкою визначення аномалій сили тяжіння в редуції Буге $\pm 0.022 \times 10^{-5} \text{ м/с}^2$; а також у 2005–2006 рр. виконано високоточні гравіметричні спостереження по площі $4000 \times 2000 \text{ м}^2$ по сітці $100 \times 100 \text{ м}$ з похибкою $\pm 0.018 \times 10^{-5} \text{ м/с}^2$ та їх інтерпретацію.

Мета

Метою роботи є інтерпретація гравіметричних матеріалів з використанням даних сейсморозвідки для виявлення у товщах візейських карбонатів Срібненської депресії Дніпровсько-Донецької западини зон підвищеної товщини і розушільнення з пористістю 10 % і більше, які можуть бути пов'язані з розвитком перспективних на поклади вуглеводнів масивів органогенних вапняків.

Методика

Методика досліджень складається з якісної переінтерпретації локального аномального поля сили тяжіння масштабу 1:50000, матеріалів детальної високоточної гравітаційної зйомки та гравітаційного моделювання розподілу густин у межах товщ візейських карбонатів по профілях і ділянках, де проведено сейсмічну розвідку. Для аналізу закономірностей розподілу локальних аномалій застосовано трансформації поля сили тяжіння. Геологічну ефективність трансформацій поля сили тяжіння підтверджено, наприклад, роботами [Buchkov S., 2003, Мончак Л. С., 2012, 2014, Масвський Б. Й., 2012, Шуровський О. Д., 2013, та ін.]. Методику гравітаційного моделювання [Анікеев С. Г., 1999, 2008] спрямовано на уточнення і деталізацію геогустинної моделі, яку апіорі сформовано за геолого-геофізичними даними. Методику моделювання засновано на рішенні 2D і 3D обернених задач гравірозвідки (ОЗГ) за допомогою комп'ютерної системи "Complex.Gravity" [Анікеев С. Г., 1997], якою реалізовано технології критеріального підходу [Кобрунов А. И., 1985].

Коротка характеристика геолого-тектонічної будови об'єкта досліджень

У тектонічному відношенні Гнідинсько-Білоусівська площа розташована в південно-західній периферійній частині Срібненської депресії в районі зчленування центральної частини Дніпровського грабену з його південною крайовою зоною. В рельєфі фундаменту вона приурочена до пологої монокліналі, яка занурюється у напрямку центральної частини депресії. Глибина залягання кристалічних порід у межах площі становить 7500–8000 м. На породах докембрійського фундаменту зі значним кутівим і стратиграфічним неузгодженням залягає осадовий комплекс. Тектоніка осадової товщі визначається як поведінкою поверхні кристалічного фундаменту, так і соляним тектогенезом.

За даними сейсморозвідки МСГТ та параметричного буріння геологічний розріз осадової товщі складено породами палеозойського, мезозойського та кайнозойського віку. Об'єктом уваги є біогермні карбонатні споруди підвищеної товщини в глинисто-карбонатній товщі нижнього під'ярусу візейського ярусу карбону. З біогерм-

ними спорудами візейської карбонатної "плити" пов'язують основні перспективи на скупчення вуглеводнів. За даними буріння "плита" залягає в інтервалі глибин 4590–4680 м та складається з трьох різних за літологічним і петрографічним складом товщ. Нижню товщу (до 30 м) складено глинисто-кремністо-карбонатними породами з розушільненими біогермними вапняками у верхній частині (продуктивний горизонт В-25); середня товща (до 70 м) – щільні вапняки з біогермними утвореннями в нижній частині (продуктивний горизонт В-24н) і верхня (до 60 м) – щільні глинисті карбонати. Крайшими фільтраційно-смісними властивостями володіють карбонатні породи у нижній і середній товщах "плити", де частіше зустрічаються органогенні споруди. У щільних глинистих карбонатах можуть бути розвинуті біогермні споруди типу невеликих банок. Молодші відклади у зв'язку з безперспективністю детально не вивчалися.

Результати інтерпретації гравітаційного поля масштабу 1:50000

Ми переоцифрували карту поля сили тяжіння в редуції Буге кондиційної гравітаційної зйомки масштабу 1:50000. Порівняння оновленої так карти поля (рис. 1) з архівною показало, що ізонамали останньої, які проведені "вручну", виглядають значно згладженими і, отже, не повною мірою відображають гравіметричну інформацію. За оновленою картою складна морфологія аномалій поля сили тяжіння корелює з особливостями рельєфу поверхні візейської карбонатної "плити", що підтверджує його інформативність стосовно глибинної будови геологічного середовища у межах площі досліджень. Значні збурення поля спостерігаються в південно-західній і північно-східній частинах площі, порівняно менші – у центральній.

Для аналізу закономірностей розподілу локальних аномалій обчислено трансформації поля сили тяжіння. Локальні аномалії поля виділено трансформацією осереднення, радіус вікна якої R приблизно відповідає глибинам залягання "плити" h ($h \approx R = 4000$ м), та трансформацією Саксова–Нігарда. Аномалії Саксова–Нігарда зумовлені джерелами, які розташовані приблизно у тому самому інтервалі глибин залягання "плити", за умов, що $2 \times R_1 < h < 2 \times R_2$ та $R_1 + R_2 \approx h$.

Низка від'ємних локальних аномалій (рис. 2) пов'язана з пастками вуглеводнів, які виявлено за даними сейсморозвідки і буріння. Так, у південно-східній частині площі в районі св. 1-Біличівська виділено локальну аномалію інтенсивністю до $-0,5 \times 10^{-5}$ м/с². Подібні аномалії розташовані в районі сейсмічного профілю СП-149, а також між СП-131 і СП-246 (на відстані до 2000 м на схід від св. 12-Білоусівська) та на початку СП-108.

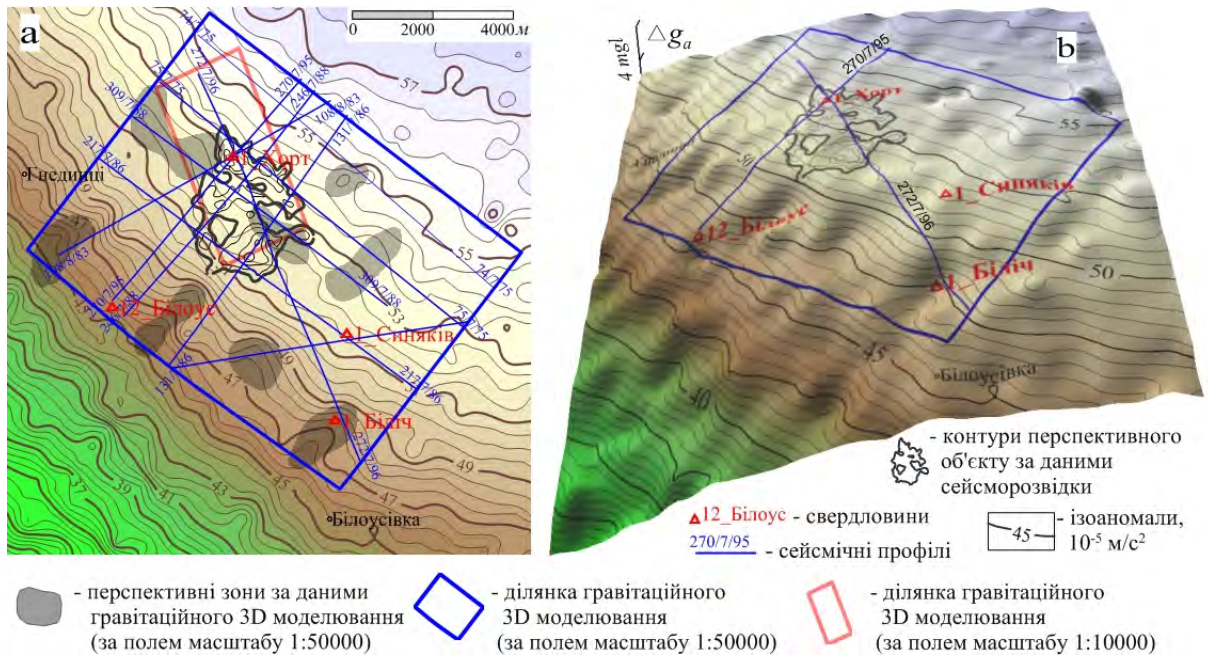


Рис. 1. Гнідинсько-Білоусівська площа ДДЗ. Поле сили тяжіння в редукції Буге (а – карта поля, б – поле у 3D зображенні; після комп'ютерних перебудов)
Fig. 1. Gnidynsko-Belousivska square of Dnieper-Donets basin. Bouguer gravity anomalies (a – field map, b – 3D visual of field; after computer reconstructions)

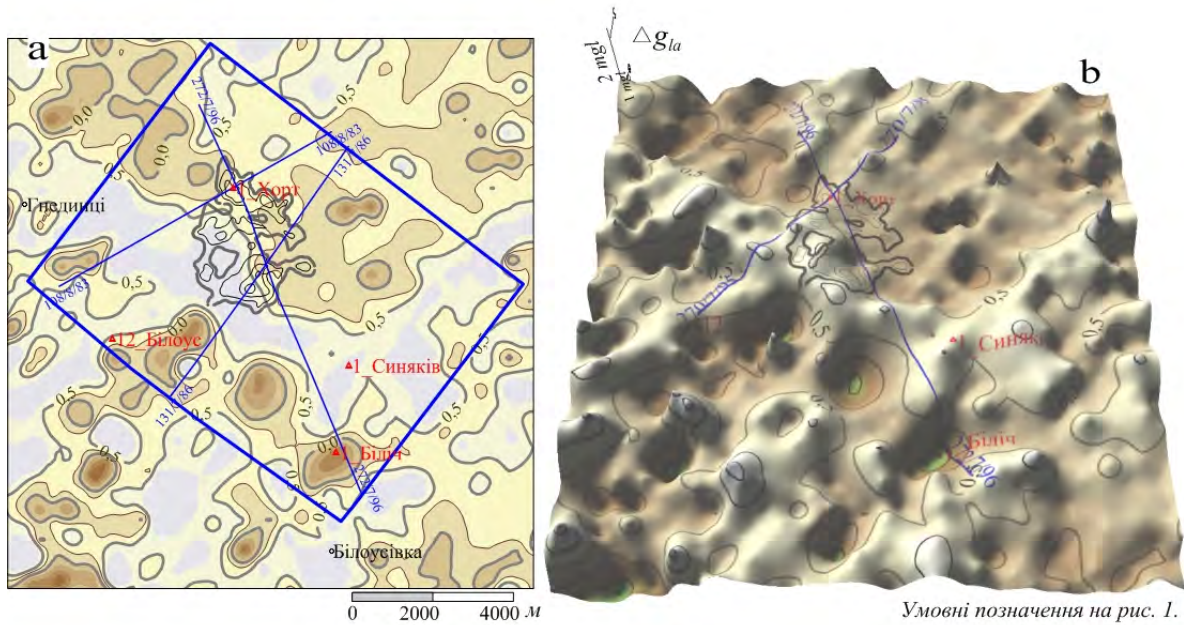


Рис. 2. Гнідинсько-Білоусівська площа ДДЗ. Локальні аномалії поля сили тяжіння за радіусом трансформації осереднення $R=4000$ м (а – карта, б – 3D зображення)
Fig. 2. Gnidynsko-Belousivska square of Dnieper-Donets basin. Local gravity anomalies by averaging transformation with a radius of 4000 meters (a – field map, b – 3D visual of field)

Інші дві групи від'ємних аномалій меншої інтенсивності, порядку -0.1×10^{-5} м/с², розташовані в північно-західній і центральній частинах площі. Порівняно менша інтенсивність цих аномалій може свідчити про більшу глибину залягання або

менші розміри об'єктів. Зазначені групи аномалій оконтурюють перспективну за даними сейсморозвідки ділянку візейських біогермних вапняків (на рис. 1 і 2 її вказано контуром у перетині СП-272 з СП-108 та СП-131). Звертає на себе увагу

подібність морфології цієї ділянки і контуру від'ємної локальної аномалії таких самих розмірів, але яка в плані дещо зміщена на схід (рис. 2).

Значні за розмірами аномалії Саксова-Нігарда (рис. 3), які оконтурено ізолінією 0.02 в у.о., спостерігаються в центральній і північній частинах площі. Біля однієї з аномалій розташовані св. 1-Біличівська і 1-Синяківщинська, а друга аномалія тяжіє до св. 12-Білоусівська. Між цими аномаліями розташовані інші, менші за розмірами.

За зіставлення аномалій двох трансформацій акцентовано увагу на локальних аномаліях, які корелюють з аномаліями Саксова-Нігарда. Кореляція цих аномалій з високою ймовірністю свідчить, що їх джерела розташовані у межах або біля "плити" (інтервал глибин: 3800–4900 м).

Отже, перебудова карт кондиційної гравітаційної зйомки масштабу 1:50000 та трансформації поля на етапі якісної інтерпретації дає змогу на фоні складної морфології поля сили тяжіння виокремити аномалії, які пов'язані з відомими або новими перспективними об'єктами.

Тривимірне гравітаційне моделювання за перебудованим полем масштабу 1:50000

Гравітаційне моделювання виконано для уточнення і деталізації початкової геогустинної моделі, яку апіорі сформовано за сейсмогеологічними матеріалами.

Структурну частину початкової тривимірної густинної моделі створено за даними буріння і сейсмозв'язки по двох границях: покрівлі та підшви карбонатної "плити" з урахуванням припущення (за даними сейсмозв'язки), що над "плитою" товщі практично однорідні та залягають

узгоджено, майже лінійно, і слабо проявляються в аномальному полі сили тяжіння. Інтервал можливих значень густини порід візейського ярусу становить $2,53-2,56 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$. ОЗГ вирішувалась за двох варіантів початкової моделі, які відрізнялись густинами порід (табл. 1). Розмір моделей – $10000 \times 7200 \text{ м}^2$ в плані, за глибиною – 3800–4900 м; дискретизація моделей (розмір елементарних комірок) – $200 \times 120 \times 10 \text{ м}^3$.

Основним результатом ОЗГ є деталізований розподіл густини порід карбонатної "плити" (рис. 4), який відтворено в тривимірній моделі за аномальним полем сили тяжіння у межах ділянки моделювання (рис. 1). Варіанти початкових значень густини карбонатів в апіорній моделі (рис. 4: $a - 2,53 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$; $b - 2,56 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$) вплинули на морфологію розподілу густини в плані деталізованої густинної моделі не суттєво.

Виявлені зони дефіциту мас (розушліщення) відповідають у плані від'ємним локальним аномаліям та тяжіють до аномалій Саксова-Нігарда максимальної інтенсивності. Так, у районі св. 1-Біличівська простежується об'єкт площею до 3500 м^2 з інтенсивністю розушліщення до $-0,35 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$. Свердловини 1-Синяківщинська та 12-Білоусівська знаходяться за межами виявлених зон дефіциту мас; св. 1-Хортицька розташована поміж зонами надлишку і дефіциту мас (рис. 4).

На півдні ділянки, яка має підвищену товщину карбонатної плити і є перспективною за даними сейсмозв'язки, і у напрямку на південний схід від неї виявлено зони дефіциту мас до $-0,15 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$; їхня площа становить від 2000 до 3000 м^2 . Контур цих зон за ізоделсою $2,45 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$ у плані подібний до форми перспективної ділянки.

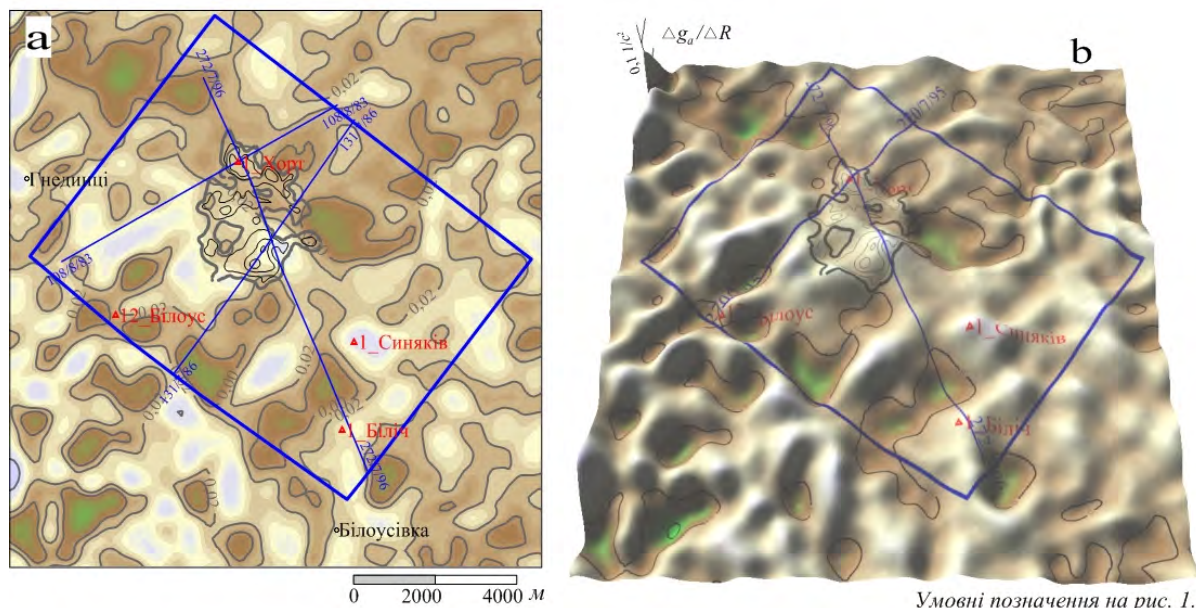
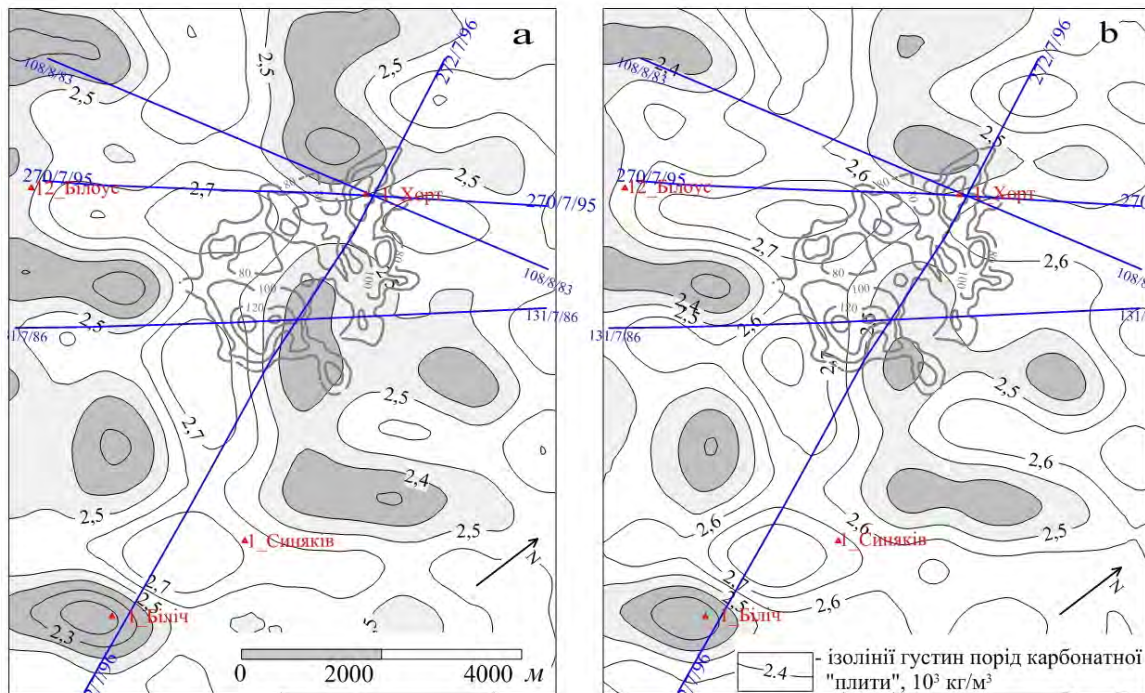


Рис. 3. Гнідинсько-Білоусівська площа ДДЗ. Аномалії Саксова-Нігарда за радіусами трансформації $R = 1800$ і 2300 м (а – карта, б – 3D зображення)
Fig. 3. Gnidynsko-Belousivska square of Dnieper-Donets basin. Saxov-Nyggard anomalies, transformation radius – 1800 and 2300 meters (a – field map, b – 3D visual of field)

Густини гірських порід по розрізу

| Глибини, м | Ярус | Світа | Товщина, м | Літологія | Густини порід, $\times 10^3$ кг/м ³ | |
|------------|------------|---|------------|---|--|----------------------|
| До 4890 | Візейський | Солохівська, C ₁ V ₂ | 200–400 | Чергування аргілітів, алевролітів, пісковиків | 1 варіант 2,53 | 2 варіант 2,56 |
| 3800–4900 | | Карбонатна “плита”, C ₁ V ₁ | 60–120 | Вапняки сірі, вапняки біогермні, аргіліти | ущільнені 2,56 | розущільнені 2,53 |
| Від 3800 | | Артюхівська, C ₁ V ₁ | 100–200 | Чергування аргілітів, алевролітів, пісковиків | 2,53 | 2,56 |



2.53 - априорна густина карбонатної "плити", 10^3 кг/м³
 Зони розуцільнення, оконтурені ізоденсою $2,4 \times 10^3$ кг/м³, показано на рис. 1

2.56 - априорна густина карбонатної "плити", 10^3 кг/м³
 Інші умовні позначення на рис. 1.

Рис. 4. Гнідинсько-Білоусівська площа ДДЗ. Розподіл середньозважених за глибиною густин у межах карбонатної “плити” (результат рішення тривимірної оберненої задачі гравірозвідки)

Fig. 4. Gnidynsko-Belousivska square of Dnieper-Donets basin. Distribution of weighted average densities along depth within “carbonate plate” (result of 3D gravity inversion)

Зважаючи на природу утворення біогермних споруд цей контур розуцільнених об’єктів, який практично збігається з зоною локальних аномалій зменшеної інтенсивності (добре простежується на рис. 2, a), слід вважати перспективним.

Товщина карбонатної “плити” у межах площі досліджень змінюється від 45–70 м до 100–130 м, досягаючи максимальних значень на північному заході, півночі та на південному сході. У межах ділянок підвищеної товщини за даними сейсморозвідки прогнозують розвиток біогермних споруд. Зони розуцільнених карбонатів, які виявлено за результатами гравітаційного моделювання, тяжіють до ділянок підвищеної товщини карбонатів (рис. 5, a) та до припіднятих ділянок поверхні карбонатної “плити” (рис. 5, b).

Двовимірне гравітаційне моделювання по сейсмічних профілях

Моделювання виконано з метою деталізації розподілу густини в межах візейських карбонатів з урахуванням даних буріння і сейсморозвідки щодо будови геологічного розрізу над “плитою”. Як структурну частину априорних густих моделей використано сейсмогеологічні розрізи по профілях СП-272 і СП-270 (їх розташування показано на рис. 1). Модель розрізу складено з геометрії 12-ти сейсмічних границь між товщами від московського до турнейського ярусів. Густини порід по товщах розрізу визначено за даними по св. 1 – Біличівська і 12-Білоусівська та зведеного геолого-геофізичного розрізу (табл. 2).

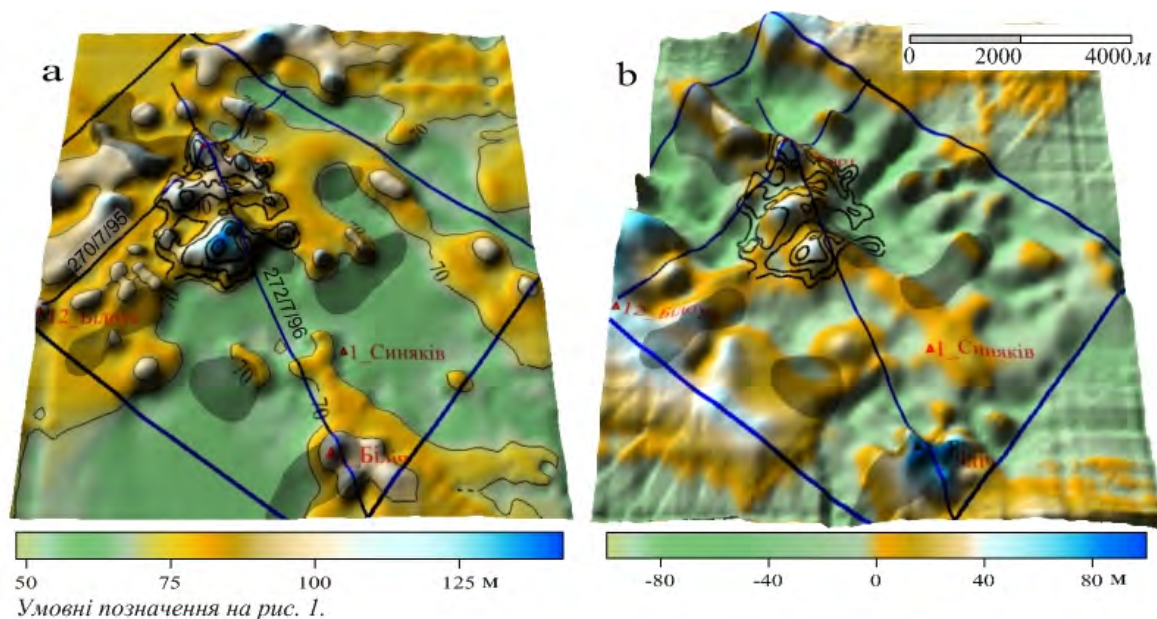


Рис. 5. Гнідинсько-Білоусівська площа ДДЗ. Зіставлення прогнозних зон розуцільнення з товщиною візейських карбонатів (а) і з аномальними відхиленнями поверхні візейських карбонатів відносно середньої площини (б)

Fig. 5. Gnidynsko-Belousivska square of Dnieper-Donets basin. A comparison of forecast decompaction areas with thickness of Visean carbonate (a) and with anomalous deviations surface of Visean carbonate relative to the mean plane (b)

Таблиця 2

Густина гірських порід по розрізу

| Глибини, м | Ярус | Світа, назва | Індекс | Товщина, м | Літологія | Густина $\times 10^3$ кг/м ³ |
|------------|-------------------------|--------------|-------------------------|------------------|--|---|
| До 3036 | Московський | – | C _{2m} | – | Пісковики, глинисті вапняки | 2,45 |
| 2650–3370 | Башкирський | | C _{2b} | 300–700 | Теригенна піщано-глиниста товща | 2,47 |
| 2990–3475 | | | C _{2b1} | | Вапняки з прошарками аргілітів | 2,45 |
| 3080–3705 | Серпухівський | | C _{1S} | | Глинисто-алевролітові породи з прошарками пісковиків сірих | 2,47 |
| 3290–3835 | | | C _{1S1} | | – | 2,49 |
| 3430–4015 | | | – | | – | 2,50 |
| 3660–4300 | | Візейський | Солохівська, мошківська | C _{1v2} | | Чергування аргілітів, алевролітів, пісковиків |
| 4065–4520 | Солохівська, мошківська | | C _{1v2} | 200–470 | Аргіліти, алевроліти, пісковики | 2,56 |
| 4310–4625 | Карбонатна “плита” | | C _{1v1} | 40–130 | Вапняки сірі, вапняки біогермні | 2,56–2,50 |
| 4420–4770 | Артюхівська | | C _{1v1} | 100–200 | Аргіліти, алевроліти, пісковики | 2,56 |
| 4640–5100 | – | – | C _{1t} | | – | 2,58 |
| Від 4960 | – | – | D | | – | 2,60 |

На рис. 6 подано фрагменти густинних розрізів за результатами моделювання по профілях у межах глибин 3500–5000 м.

По профілю СП-272 (рис. 6, а) на фоні густини $2,55 \times 10^3$ кг/м³ виявлено дві зони роз-

уцільнення. Перша, інтенсивністю до $0,15 \times 10^3$ кг/м³, розташована в районі св. 1 – Біличівська та приурочена до локального підняття візейських карбонатів; друга – у межах Хортицького підняття, де біогерми пробурені

св. 1-Хортицька, і має меншу інтенсивність розушільнення (до $-0,08 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$). По профілю СП-270 (рис. 6b) в зоні Хортицького підняття теж фіксується зона розушільнення до $-0,10 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$, а в районі 12-Білоусівська – друга зона розушільнення до $-0,08 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$. Також зони розушільнення простежуються над і під карбонатною “плитою”. Вони можуть бути пояснені наявністю тут пасток вуглеводнів.

Зони розушільнень у візейських карбонатах, які виявлено при двовимірному гравітаційному моделюванні, винесено на план розташування гравіметричних профілів (рис. 7).

Зона незначного розушільнення, яку виявлено на перетині профілів, за даними св. 1-Хортицька не продуктивна.

Інтенсивніші зони розушільнення охоплюють ділянки св. 1-Біличівська та св. 12-Білоусівська, де в карбонатних породах відкрито поклади вуглеводнів. Тільки перша з них збігається зі зоною, яку виявлено за даними тривимірного моделювання за полем масштабу

1:50000 і де прогнозовано інші зони розушільнення, що розташовані між св. 12-Білоусівська і св. 1-Біличівська.

Тривимірне моделювання за високоточним гравітаційним полем масштабу 1:10000

Для уточнення перспектив карбонатної “плити” у північно-північно-західному напрямку від контуру біогермів, прогнозованого сейсмороз-відкою, виконано високоточну гравіметричну зйомку на обмеженій ділянці $4000 \times 2000 \text{ м}$ (рис. 1). Спостережене поле у прилеглих зонах до цієї ділянки подовжено кондиційним полем масштабу 1:50000, що дало можливість збільшити розмір первинної густинної моделі та підвишити достовірність моделювання розподілу густин на пошукових глибинах у межах ділянки.

Інші параметри моделі та методика тривимірного моделювання ті самі, що і під час інтерпретації поля масштабу 1:50000.

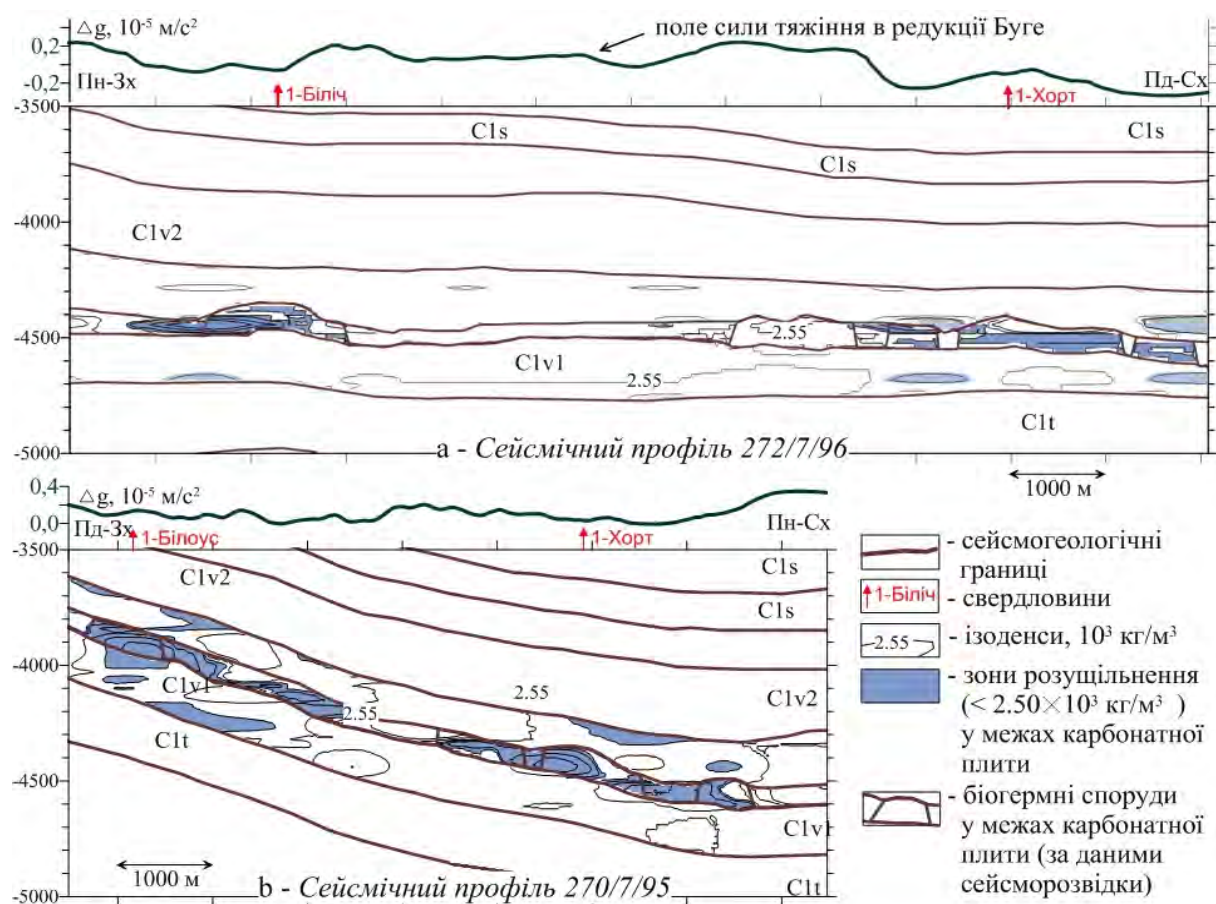


Рис. 6. Прогноз розподілу густин у межах візейських карбонатів по профілях 272/7/96 і 270/7/95 (результат рішення двовимірної оберненої задачі гравірозувідки)

Fig. 6. Forecast density distribution within Visean carbonate on the profiles 272/7/96 and 270/7/95 (result of 2D gravity inversion)

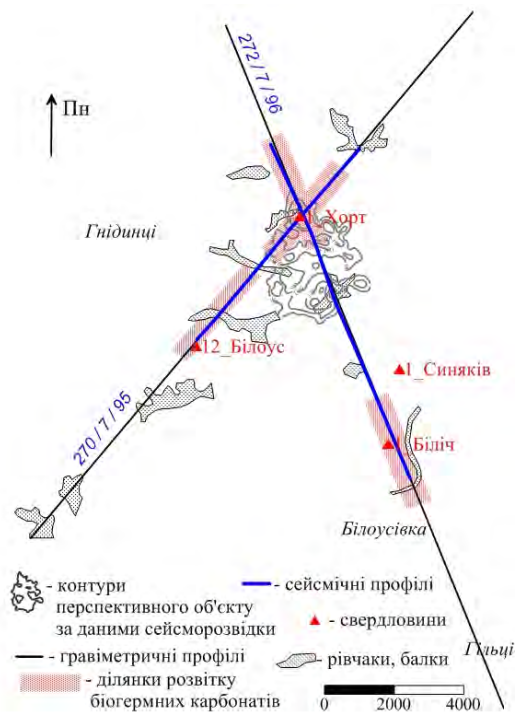


Рис. 7. Схема розташування ділянок розвитку біогермних карбонатів (за результатами рішення двовимірної оберненої задачі гравірозвідки)

Fig. 7. Location of areas of biohermal carbonates (from result of 2D gravity inversion)

Поле локальних аномалій сили тяжіння (рис. 8), яке визначено відносно лінійного фону, є досить диференційованим. Від'ємні аномалії, інтенсивність яких не перебільшує $-0,1 \times 10^{-5} \text{ м/с}^2$, займають більше ніж половину ділянки. Прогнозні контури біогермної споруди можна простежити за розподілом локальних аномалій обох знаків. Дві локальні додатні аномалії, які розташовані на відстані 1000–2000 м від св. 1-Хортицька, оконтурені або кільцевою від'ємною аномалією (північна) або низкою окремих від'ємних аномалій (південно-східна). Вони збігаються зі зонами підвищеної потужності карбонатів, які визначено за електромагнітними даними (В. В. Финчук). Додатні аномалії, які обрамлені зонами від'ємного поля, ймовірно відображають кільцеві рифогенні структури.

Різні варіанти початкових значень густини карбонатів в апріорній моделі, як і у попередньому тривимірному моделюванні, практично не вплинули на морфологію розподілу густин у деталізованих моделях (рішеннях ОЗГ) і тому вони, крім моделі, яку отримано за варіантом апріорної густини $2,53 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$ (рис. 9, 10), не наводяться.

У густинній моделі аномалії розушільнення у межах візейських карбонатів тяжіють до піднять у покрівлі карбонатної "плити" (рис. 10) та мають компакту або кільцеву форму (рис. 9); аномалії ущільнення корелюють з зонами підвищеної товщини "плити", визначеної за даними електро-

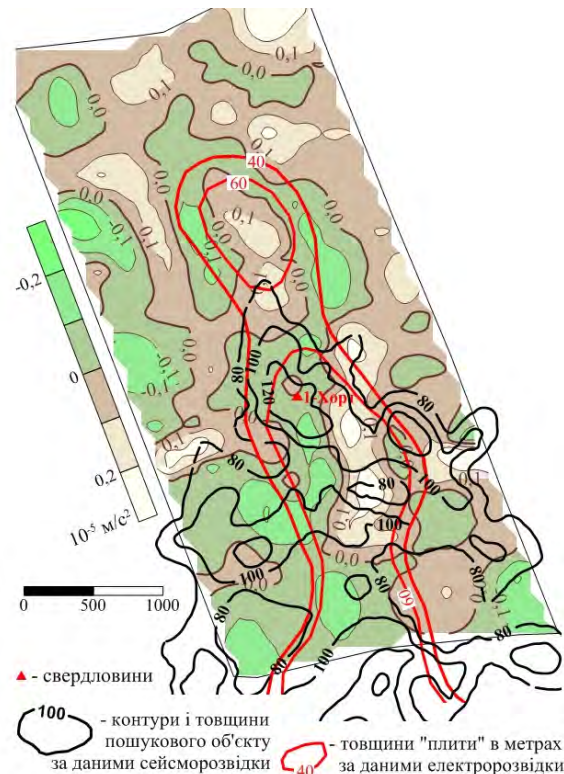


Рис. 8. Локальні аномалії поля сили тяжіння у зіставленні з даними електророзвідки і сейсмозвідки

Fig. 8. Local anomalies of gravity field compared with the data of electrical and seismic

За результатами комп'ютерної інтерпретації деталізаційних площинних гравіметричних досліджень масштабу 1:10000 на перспективній для пошуків покладів вуглеводнів Гнідинсько-Білоусівської площі побудовано тривимірну модель розподілу густини у межах візейської карбонатної плити, виділено зони розушільнення й ущільнення та кільцеві аномалії розушільнення, що оточують ущільнені карбонати.

Відсутність чітких критеріїв пошуків вуглеводнів у подібних умовах не дає змогу конкретизувати місця закладення пошукових свердловин. З досвіду досліджень у 2003–2005 рр впливає, що тільки на ділянці св. 1-Біличівська, яка розміщена в зоні розушільнених карбонатів, є надійний позитивний результат. Однак за гравіметричними матеріалами виділено два типи ймовірно перспективних густинних аномалій. Першого типу – локальні зони розушільнення, які збігаються з максимумом потужності карбонатів (рис. 11, зона 1), або з електромагнітною аномалією (зона 3), або мають кільцеву форму (зона 2); другого типу – зони ущільнення, що обрамлені аномаліями розушільнення і в плані тяжіють до електромагнітної аномалії (зона 4), або які збігаються з електромагнітною аномалією (зона 5).

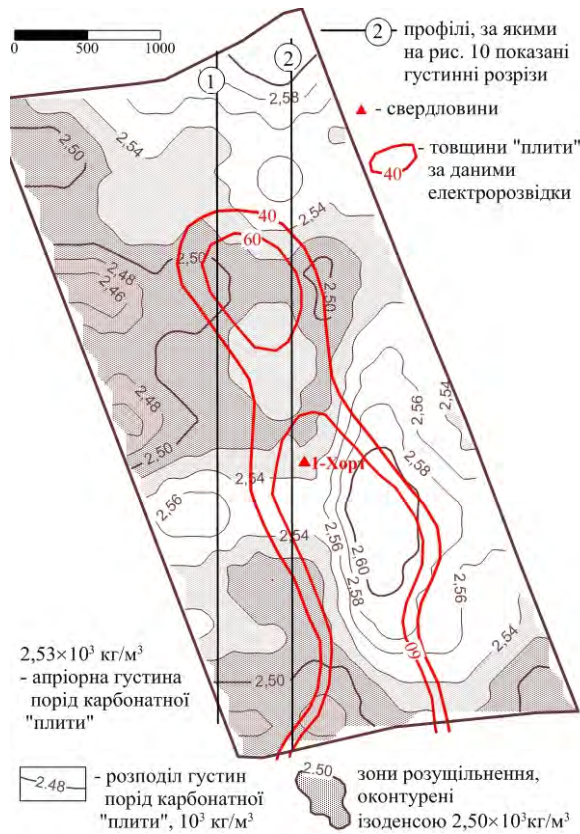


Рис. 9. Розподіл середньозважених густин за глибиною у межах карбонатної “плити” (результат рішення тривимірної оберненої задачі гравірозвідки)

Fig. 9. Distribution of weighted average densities along depth within “carbonate plate” (result of 3D gravity inversion)

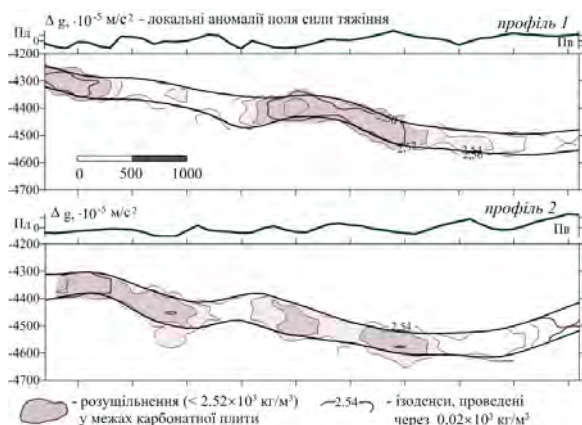
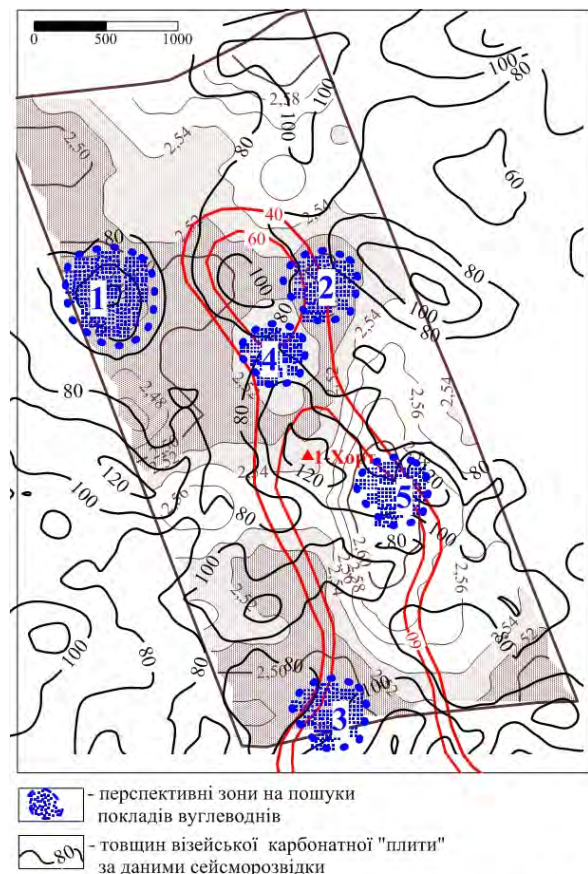


Рис. 10. Розподіл густин у межах карбонатної “плити” по розрізах тривимірної моделі (результат рішення оберненої задачі)

Fig. 10. Distribution of densities on the sections of 3D model (result of gravity inversion)



Інші умовні позначення на рис. 8, 9.

Рис. 11. Карта комплексної інтерпретації аномалій густин у межах візейської карбонатної “плити”

Fig. 11. Map of integrated interpretation of density anomalies within “carbonate plate”

Для впевненішого прогнозу необхідно проводити розбравку одержаних густинних аномалій вище зазначених типів, для чого їх потрібно розглядати в комплексі з усіма геофізичними (наприклад, як пропонується на рис. 11), геологічними, геохімічними і іншими матеріалами та з врахуванням досвіду пошуків перспективних об'єктів за потенціальними полями, наприклад [Н. Р. Уткузов, 2002, Q. Liu, 2004, І. Д. Багрій, 2007, В. Ю. Максимчук, 2007, В. Ю. Максимчук, 2008, В. А. Шляховський, 2009, С. П. Левашов, 2011, М. Andy Kass, 2015 і ін.].

Наукова новизна

Показано, що у складних геолого-геофізичних умовах застосування високоточної гравірозвідки і комп'ютерних технологій інтерпретації її матеріалів є недорогим і геологічно ефективним інструментом вирішення завдань детального розчленування в об'ємі і за розрізом об'єктів незначної потужності, зокрема і нафтогазоперспективних, на великих глибинах (4000–4500 м).

Практична значущість

За результатами 2D і 3D гравітаційного моделювання виявлено зони розушільнених карбонатів, які тяжіють до піднятих ділянок поверхні карбонатної “плити” і до ділянок підвищеної товщини карбонатів, у межах яких за даними сейсмозв'язки і було прогнозовано розвиток біогермних споруд.

За даними інтерпретації детальної площинної високоточної гравітаційної зйомки побудовано тривимірну модель розподілу густини в межах карбонатної “плити”, де виділено зони розушільнення/ушільнення та кільцеві аномалії розушільнення. До перспективних належать локальні зони розушільнення, що збігаються з максимальними потужностями карбонатів, а також зони ушільнення, які обрамлені зоною розушільнення і тяжіють або співпадають у плані з електромагнітними аномаліями.

Висновки

Результати інтерпретації перебудованої фондової гравіметричної зйомки масштабу 1:50000 та детального густинного моделювання підтверджують наявність глибинних локальних об'єктів, вочевидь біогермного походження, та доповнюють дані сейсмозв'язки щодо перспективності ділянок Гнідинсько-Білоусівської площі.

Наведені дослідження гравіметричних матеріалів свідчать, що під час вибору об'єктів під пошукове буріння доцільно виконувати комп'ютерну перебудову та переінтерпретацію архівних гравіметричних карт масштабу 1:50000, а також, по можливості, проводити гравіметричну зйомку крупнішого масштабу та якісну і кількісну інтерпретацію її матеріалів.

Література

Анікєєв С. Г. Комп'ютерна система рішення прямих та обернених задач гравірозвідки для 2D/3D моделей складнопобудованих середовищ / С. Г. Анікєєв // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – Серія: Розвідувальна і промислова геологія. – Івано-Франківськ, 1997. – Вип. 34. – С. 57–63.

Анікєєв С. Г. Методика інтерпретації гравіметричних матеріалів при довільній будові геологічних середовищ / С. Г. Анікєєв : дис. ... канд. геол. наук. – Івано-Франківськ: ІФДТУНГ. – 1999. – 242 с.

Анікєєв С. Г. Про методику моделювання складно побудованих середовищ в гравірозвідці / С. Г. Анікєєв // Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики; зб. наукових праць. – К., 2008. – С. 67–72.

Багрій І. Д. Нафтогазоперспективні об'єкти України. Прогнозування нафтогазоперспективних об'єктів Дніпровсько-Донецької газонафтоносної області з застосуванням комплексу

нетрадиційних приповерхневих методів досліджень / І. Д. Багрій, В. В. Гладун, П. Ф. Гожик, Б. Л. Крупський, В. П. Клочко. – К., 2007. – 535 с.

Кобрунов А. И. Теоретические основы критерияльного подхода к анализу геофизических данных (на примере задач гравиметрии) / А. И. Кобрунов // ИФИНГ. – Ивано-Франковск, 1985. – 269 с. – Деп. в УкрНИИТИ 18.02.86 Т 1280-УК86.

Левашов С. П. О целесообразности оперативной оценки перспектив обнаружения новых скопелений углеводородов на территории Украины по данным дистанционного зондирования Земли / С. П. Левашов, Н. А. Якимчук, И. Н. Корчагин // Геоінформатика. – 2011. – № 4. – С. 5–17.

Масвський Б. Й. Новітні дослідження геологічної будови і перспектив нафтогазоносності глибоко-занурених горизонтів Українських Карпат / Б. Й. Масвський, С. Г. Анікєєв, Л. С. Мончак та ін. – ІФНТУНГ, Івано-Франківськ. – 2012. – 208 с.

Максимчук В. Ю. Дослідження аномального магнітного поля та магнітних властивостей гірських порід на Прирічному газоконденсатному родовищі / В. Ю. Максимчук, Р. С. Кудравець, Ю. М. Городиський, Р. Гауш // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ, ІФНТУНГ, Івано-Франківськ. – 2007. – № 1(22). – С. 19–30

Максимчук В. Ю. Особливості аномального магнітного поля над родовищами вуглеводнів центральної частини Дніпровсько-Донецької западини / В. Ю. Максимчук, Р. С. Кудравець // Геофізичні технології прогнозування та моніторингу геологічного середовища. Матеріали наукової конференції, 6–10 жовтня 2008 р. – Львів. – С. 103–104.

Мончак Л. С. Перспективні наклади вуглеводнів ділянки Покутсько-Буковинських Карпат за гравіметричними матеріалами / Л. С. Мончак, Г. О. Жученко, С. Г. Анікєєв, В. П. Степанюк // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – Івано-Франківськ. – 2012. – № 1 (31). – С. 3–9.

Мончак Л. С. Про перспективи газоносності глибоко занурених горизонтів Крукеницької западини / Л. С. Мончак, С. Г. Анікєєв, Б. Й. Масвський, С. С. Куровець // Нафтова галузь України. – К., 2014. – № 3 – С. 14–16.

Уткузов Н. Р. Перспективы высокоточной гравиметрической разведки при геологическом картировании и поисках залежей углеводородов (опыт НПУ “Казаньгеофизика”) / Н. Р. Уткузов, Ю. Б. Антонов, В. М. Лучников // Георесурсы, КФУ. – Казань, 2002, № 1(9). – С. 25–28.

Шляховский В. А. Опыт применения электрометрии для поиска нефтяных залежей /

- В. А. Шляховский, В. В. Финчук и др. // Нефть. Газ. Новации. – 2009. – №10. – С. 11–13.
- Шуровський О. Д. Досвід застосування високоточної гравірозвідки підчас експлуатації родовищ самородної сірки методом підземної виплавки / О. Д. Шуровський, С. Г. Анікеев // Мінеральні ресурси України. – К., 2013. – № 3. – С. 29–36.
- Andy M. Kass, Benjamin J. Drenth, Leon Foks, Joseph Capriotti. Quantitative geophysical interpretation of gravity gradient and magnetic data over a buried carbonatite: The Elk Creek deposit, Nebraska, USA. International Workshop on Gravity, Electrical & Magnetic Methods and their Applications, Chenghu, China, 19–22 April 2015: 201–204.
- Bychkov S., Novoselitskiy V., Prostoloupov G., Scherbinina G., Tchadaev M. The computer-based system VECTOR as a tool for detection and localization of both gravity and magnetic field sources and its applications at geological interpretation / Abstracts of Contribution of the EGS-AGU-EUG Joint Assembly, France, Nice, 2003, Vol. 5, 01497.
- Liu Q., Chan L. and other. Relationship between magnetic anomalies and hydrocarbon microseepage above the Jingbian gas field, Ordos basin, China // AAPG Bull., Vol. 88, No 2 (February 2004), P. 241–251.

С. Г. АНИКЕЕВ¹, А. Д. ШУРОВСКИЙ²

¹Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Украина, 76019, г. Ивано-Франковск, ул. Карпатская, 15; тел. +38(034)2727125, эл. почта pngg@nung.edu.ua

²Прикарпатское государственное предприятие “Спецгеологоразведка”, Украина, 76007, г. Ивано-Франковск, ул. Урожайна, 7

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НЕФТЕГАЗОПЕРСПЕКТИВНЫХ УЧАСТКОВ В ПРЕДЕЛАХ ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ СРЕБНЕНСКОЙ ДЕПРЕССИИ ДНЕПРОВСКО-ДОНЕЦКОЙ ВПАДИНЫ ПО ДАННЫМ ГРАВИРАЗВЕДКИ

Цель. Целью работы является интерпретация гравиметрических материалов с использованием данных сейсморазведки для выявления зон разуплотнения в толще визейских карбонатов Сребненской депрессии Днепроовско-Донецкой впадины. Эти зоны могут быть связаны с развитием перспективных на месторождения углеводородов массивов органогенных известняков. **Методика.** Методика исследований заключается в интерпретации локальных аномалий поля силы тяжести масштаба 1:50000, материалов детальной высокоточной гравитационной съемки и моделировании распределения плотностей в пределах толщ визейских карбонатов по профилям и участкам, где проведена сейсмическая разведка. Гравитационное моделирование выполнено с помощью авторских компьютерных технологий решения 2D и 3D обратных задач гравиразведки. **Результаты.** По фондовым гравиметрическим материалам построены карты локальных аномалий поля силы тяжести. Выявлен ряд отрицательных локальных аномалий, связанных с залежами углеводородов. По материалам профильных высокоточных гравиметрических наблюдений по сейсмическим профилям выполнено моделирование распределения плотностей в пределах карбонатной “плиты”. По результатам компьютерной интерпретации детальных площадных гравиметрических наблюдений масштаба 1:10000, проведенных на Гнидинско-Белуосовской площади, построена трехмерная модель распределения плотностей в пределах визейских карбонатов. По результатам 2D и 3D гравитационного моделирования выявлены зоны разуплотнения карбонатов, которые тяготеют к приподнятым участкам поверхности карбонатной “плиты” и к участкам повышенной толщины карбонатов, в пределах которых по данным сейсморазведки прогнозировались биогермные постройки. В трехмерной детальной плотностной модели кроме зон разуплотнения изометрической или сложной форм выявлены кольцевые аномалии разуплотнения, которые обрамляют уплотненные карбонаты. Результаты моделирования использованы для исследования перспектив Гнидинско-Белуосовской площади ДДВ на нефтегазоносность. **Научная новизна.** Доказано, что в сложных геолого-геофизических условиях применение высокоточной гравиразведки и компьютерных технологий интерпретации ее материалов является недорогим и геологически эффективным инструментом решения задачи детального расчленения по плотности объектов незначительной мощности в объеме и в разрезе, даже, на больших глубинах (более 4000 м). **Практическая значимость.** Практика свидетельствует, что компьютерная переинтерпретация фондовых кондиционных гравиметрических карт масштаба 1:50000 значительно повышает их информативность и может быть основой для выявления новых участков, перспективных на поиски и разведку месторождений нефти и газа. По данным детального трехмерного гравитационного моделирования оконтурены перспективные плотностные аномалии: локальные зоны разуплотнения и зоны уплотнения, которые обрамлены аномалиями разуплотнения.

Ключевые слова: биогермные постройки, разуплотнения карбонатов, высокоточная гравиразведка, сейсморазведка, гравитационное поле, трансформации, локальные аномалии поля силы тяжести, геоплотностное моделирование.

S. G. ANIKEYEV¹, O. D. SHUROVSKY²

¹Ivano-Frankivsk national technical university of oil and gas, Karpatskaya, str., 15; 76019, Ivano-Frankivsk, Ukraine, tel. +38(034)2727125, e-mail pngg@nung.edu.ua

² Carpathian's State Company "Spetsgeologorazvedka", Urozhayna, str., 7; 76007, Ivano-Frankivsk, Ukraine.

FORECASTING OF OIL AND GAS AREAS WITHIN THE SOUTH-WESTERN PART OF THE SREBNYANSKA DEPRESSION OF DDB ACCORDING TO THE GRAVITY AND SEISMIC DATA

Purpose. The purpose of the article is the interpretation of the gravity data with using the seismic data for revealing of zones of decompression with high porosity in the Visean carbonate of the Srebnenska depression (within Dnepro-Donetsk Basin). These zones may be associated with the development of organic Limestone massives, which are promising for hydrocarbon deposits. **Methodology.** The studying methods include a interpretation of local anomalies of the Gravity field of Scale 1:50 000, data of the detailed and precise gravity survey and modeling of the distribution of densities within the Visean carbonate thickness on zones and along profiles, where a seismic research has been done. The gravity modelling has been done with the help of some copyrights computer technology in 2D and 3D direct and inverse problems of gravity. **Results.** Local anomaly maps of the gravity field have been designed with the help of stock gravimetric materials. Identified a number of negative local anomalies are associated with the hydrocarbon deposits. According to the materials of specialized precision gravity observations from seismic profiles modeled density distribution within the carbonate "plate". According to the results of computer interpretation of detailed gravimetric observations of scale of 1:10,000, carried out in the region of Gnidyntsko-Belousivska square, built a three-dimensional model of the density distribution within the Visean carbonate. According to the results of 2D and 3D gravity modeling there were zones of carbonate decompression revealed, which tend to the elevated surface areas of the carbonate "plate" and to the areas with increased carbonate thickness within which bioherm constructions were predicted by seismic data to be situated. In this detailed three-dimensional density model in addition to the decompression of isometric zones or complex forms there are also circle anomalies of decompression, which cover sealed carbonates, has been revealed. The simulation results are used to study the prospects Gnidyntsko-Belousivska Square of DDB for petroleum potential. **Originality.** It's proved that in complex geological-geophysical conditions the use of high-precized gravity research and computer technology of interpretation of its materials is actually inexpensive and geologically effective instrument of solving of a detailed discomposition task for low power density of objects in the volume and in the section, even in the depths more than 4000 m. **Practical significance.** On practice its shown that the computer re-interpretation of its conditioning stock gravimetric maps of scale 1:50 000 significantly increases its informative value and it can be the basis for the identifying of new sites, that are promising for the prospecting and exploration of oil and gas. According to of three-dimensional detailed model has allowed outlining prospective density anomalies: local zones and decompression zones, which are framed by the anomalies of decompression.

Key words: bioherm construction, decompression carbonates, high-precision gravity prospecting, seismic exploration, gravity field, transformations, local anomalies of the gravity field, geodensity modelling.

REFERENCES

- Anikeyev S. G. *Komp'yuterna sy'stema rishennya pryamy'x ta obrerneny'x zadach gravirozvidky` dlya 2D/ 3D modelej skladnopobudovany'x seredovy'shh* [Computer system solutions of direct and inverse problems of gravity for 2D / 3D models of complex built environments], *Rozvidka ta rozrobka naftovy'x i gazovy'x rodovy'shh* [Exploration and development of oil and gas fields], Ivano-Frankivsk, 1997, Vol. 34, pp. 57–63.
- Anikeyev S. G. *Metody'ka interpretaciyi gravimetri'chny'x materialiv pry` dovil'nij budovi geologichny'x seredovy'shh. Diss. kand. geol. nauk* [Methods of gravimetric interpretation materials at an arbitrary structure geological environments. Candidate of geol. sci. diss.], IFNTUOG, Ivano-Frankivsk, 1999, 242 p.
- Anikeyev S. G. *Pro metody'ku modelyuvannya skladno pobudovany'x seredovy'shh v gravirozvidci* [On the method of modeling complex built environments in gravity], *Teoretychni ta prykladni problemy heoinformatyky* [Theoretical and applied problems of geoinformatics], Kyiv, 2008, pp. 67–72.
- Bagrij I. D., Gladun V. V., Gozhy`k P. F., Krups`ky`j B. L., Klochko V. P. *Naftogazoperspekty`vni ob`yekty` Ukrainy`. Prognozuvannya naftogazoperspekty`vny'x ob`yektiv Dniprovs`ko-Donecz`koyi gazonaftonosnoyi oblasti z zastosuvannyam kompleksu netrady`cijny'x pry`poverxnevny'x metodiv doslidzhen`* [Oil-gas objects Ukraine. Prediction of oil-gas objects Dnieper-Donets gas and oil field using complex unconventional subsurface research methods], Kyiv, 2007, 535 p.
- Kobrunov A. I. *Teoreticheskie osnovy kriterial'nogo podhoda k analizu geofizicheskikh dannyh (na primere zadach gravimetrii)* [The theoretical basis of a criteria approach to the analysis of geophysical data (on example of the gravity problems)]/IFIOG. Ivano-Frankivsk, 1985, 269 p., Dep. Ukr. SRI STI 18.02.86 T 1280-UK86.
- Levashov S. P., Jakimchuk N. A., Korchagin I. N. *O celesoobraznosti operativnoj ocenki perspektiv obnaruzhenija novyh skoplenij uglevodorodov na territorii Ukrainy po dannym distancionnogo*

- zondirovaniya Zemli* [About the feasibility of rapid assessment of the prospects of discovering new hydrocarbon accumulations in the territory of Ukraine on remote sensing data]. *Geoinformatika – Geoinformatics (Ukraine)*, 2011, no. 4, pp. 5–17.
- Mayevs'kyj B. J., Anikeyev S. G., Monchak L. S. and etc. *Novitni doslidzhennya geologichnoyi budovy i perspekty v naftogazonosnosti gly boko-zanureny x gory zontiv Ukrayins'ky x Karpat* [Recent studies of the geological structure and prospects of oil and gas horizons deeply immersed Ukrainian Carpathians], Ivano-Frankivsk, IFNTUOG, 2012, 208 p.
- Maksy'mchuk V. Yu., Kuderavec' R. S., Gorody's'kyj Yu. M., Gaupp R. *Doslidzhennya anomal'nogo magnitnogo polya ta magnitny x vlasty vostej girs'ky x porid na Pry'richnomu gazokondensatnomu rodovy shhi* [Research anomalous magnetic field and the magnetic properties of rocks at streamside gas field], *Rozvidka ta rozrobka naftovy x i gazovy x rodovy shh* [Exploration and development of oil and gas fields], Ivano-Frankivsk. 2007, no. 1(22), pp. 19–30.
- Maksy'mchuk V. Yu., Kuderavec' R. *Osobly vosti anomal'nogo magnitnogo polya nad rodovy shhamy vuglevodniv central'noyi chasty ny Dniprovs'ko-Donecz'koyi zapady ny* [Features anomalous magnetic field of hydrocarbon deposits of the central part of the Dnieper-Donets basin], *Geofizy'chni tekhnologiyi prognozuvannya ta monitoryngu geologichnogo seredovy shha. Materialy naukovoyi konferenciyi, 6–10 zhovtnya 2008 r.* [Geophysical technology forecasting and monitoring of geological environment. Materials Conference, 6-10 October 2008], Lviv. 2008, pp. 103–104.
- Monchak L. S., Zhuchenko G. O., Anikeyev S. G., Stepanyuk V. P. *Perspekty vni na poklady vuglevodniv dilyanky Pokuts'ko-Bukovy ns'ky x Karpat za gravimetry'chny my materialamy* [Promising areas for hydrocarbon deposits Pokutsko-Bukovina Carpathians by gravimetric materials], *Naukovy j visny k Ivano-Frankivs'kogo nacional'nogo tekhnichnogo universy tetu nafty i gazu* [Scientific Bulletin Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas], Ivano-Frankivsk. 2012, no 1(31), pp. 3–9.
- Monchak L. S., Anikeyev S. G., Mayevs'kyj B. J., Kurovec' S. S. *Pro perspekty vy gazonosnosti gly boko zanureny x gory zontiv Krukeny'cz'koyi zapady ny* [Prospects bearingness deeply embedded horizons Krukenytskoyi depression], *Naftova galuz' Ukrayiny* [The oil industry of Ukraine], Kyiv, 2014, no 3, pp. 14–16.
- Utkuzov N. R., Antonov Ju. B., Luchnikov V. M. *Perspektivy vysokotochnoj gravirazvedki pri geologicheskoy kartirovani i poiskah zalezhej uglevodorodov (opyt NPU "Kazan'geofizika")* [Prospects of high-precision gravity in geological mapping and searching for hydrocarbon deposits (NHRI experience "Kazangeophysica")], *Georesursy* [Georesources], KFU, Kazan. 2002, no 1(9). pp. 25-28.
- Shljahovskij V. A., Finchuk V. V. i dr. *Opyt primenenija jelektrozrazvedki dlja poiska nefjtjanyh zalezhej* [Experience of using electrical to find oil deposits], *Neft'. Gaz. Novacii* [Oil. Gas. Innovations], Moscow, 2009, no 10, pp. 11–13.
- Shurovs'kyj O.D., Anikeyev S.G. *Dosvid zastosuvannya vy sokotochnoyi gravirazvedky pidchas ekspluataciyi rodovy shh samorodnoyi sirky metodom pidzemnoyi vy plavky* [Experience of high precision gravity during the exploitation of native sulfur by underground melting], *Mineral ni resursy Ukrayiny* [Mineral resources of Ukraine], Kyiv, 2013, no 3, pp. 29–36.
- Andy M. Kass, Benjamin J. Drenth, Leon Foks, Joseph Capriotti. Quantitative geophysical interpretation of gravity gradient and magnetic data over a buried carbonatite: The Elk Creek deposit, Nebraska, USA. International Workshop on Gravity, Electrical & Magnetic Methods and their Applications, Chenghu, China, 19–22 April 2015: 201-204.
- Bychkov S., Novoselitskiy V., Prostoloupov G., Scherbinina G., Tchadaev M. The computer-based system VECTOR as a tool for detection and localization of both gravity and magnetic field sources and its applications at geological interpretation. Abstracts of Contribution of the EGS-AGU-EUG Joint Assembly, France, Nice, 2003, Vol. 5, 01497.
- Liu Q., Chan L. and other. Relationship between magnetic anomalies and hydrocarbon microseepage above the Jingbian gas field, Ordos basin, China. AAPG Bull., Vol. 88, No 2 (February 2004), pp. 241–251.

Надійшла 21.05.2015 р.