

ІНВЕРСІЯ ГРАВІТАЦІЙНИХ ДАНИХ ЗА ДОПОМОГОЮ ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМУ

УДК 550.831.017

Павло
ГРИЦУК

кандидат геологічних
наук, доцент,
директор
ТОВ «АПСТРИМ
СЕРВІСИ»

Розглянуто генетичний алгоритм підбирання гравітаційних джерел. В основу підходу покладено принцип відбирання генів від батьків та внаслідок мутації, який адаптовано до формування геологічних утворень. Для двовимірної сіткової моделі визначення надлишкової густини в блоках виконується відбиранням із багатьох моделей двох (батьківських) варіантів, у яких розраховані гравітаційні аномалії мають більший збіг із вихідними. Як цільову функцію використано середній градієнт даних гравіметрії. Генерацію різних моделей ефективної щільності виконано випадковим чином. Теоретичні моделі складено з одного тіла, яке мало одне та два значення надлишкової густини. Було розглянуто теоретичні розрізи з чотирма шарами. Підбирання моделі виконано за умови, що значення ефективної щільності було відоме або ж було задано її певний діапазон. Кожний блок мав форму прямокутника з квадратним перерізом у площині профілю гравітаційних даних та обмеженим поперечним видовженням. Порівняння вихідних та розрахованих аномалій прискорення сили тяжіння здійснено за допомогою середньої норми та похибки у відсотках. Відсутність стрибків на графіку цільової функції гарантувала визначення точної моделі. Геометрію тіла з однорідною надлишковою густиною точно розраховано за фіксованого значення ефективної щільності для чотирьох шарів. Під час визначення геометрії тіл модель із двома значеннями надлишкової густини мала деякі похибки. Генетичний алгоритм, який ґрунтується на еволюційному підході у визначенні фізичних параметрів блоків, виконує підбирання гравітаційної моделі доволі швидко й ефективно. Основними факторами, що впливають на точність геометрії, є дані про надлишкову густину.

Реалізований підхід дає можливість виконувати оцінювання розрізу за сітковим розподілом ефективної густини. Розробку застосовано для двовимірної інтерпретації гравітаційної аномалії над нафтогазовим родовищем. Отриману в результаті інтерпретації форму антиклінальної структури узгоджено з геологічними даними.

Ключові слова: гравітаційна інверсія; підбирання моделі; надлишкова густина; генетичний алгоритм.

ВСТУП

Аналіз гравітаційних аномалій дає змогу визначити форму джерел. Розподіл щільності в середовищі вирішує багато завдань. З них – пошук родовищ корисних копалин, порожнин, глибинне геологічне моделювання, моніторинг геологічних процесів тощо. Шляхом інверсії гравітаційних даних можна обчислити розподіл щільності для сіткового середовища. Геометрію моделей встановлюють за розрахунками значень густини в блоках. Це нелінійна обернена задача. Вхідними даними є аномальні значення гравітаційного поля та діапазон густин, які треба з'ясувати. На виході отримують інвертовану модель, яка може характеризувати геологічні структури.

Розглянемо основні підходи до інверсії аномалій прискорення сили тяжіння з прикладами використання. Фішер і Говард (1980) продемонстрували метод квадратичного програмування для середовища, що складається з прямокутних блоків. Цей підхід було використано для інтерпретації гравітаційного профілю над вугільними басейнами Галілеї та Драммонда у Квінсленді (Австралія). Гравітаційна інверсія для трьох шарів добре корелюється із сейсмічними даними. Ласт і Кубік (1983) застосували принцип компактного тіла для двовимірної інверсії гравітаційних аномалій. Інтерпретація цього підходу для окремих теоретичних тіл дала точний результат навіть у разі накладання помилок на вихідні дані. Компактну інверсію

було використано для інтерпретації аномалії над батолітом Гішон-Крік у Британській Колумбії (Канада), що містить родовища міді. Верхній шар моделі мав фіксовану величину густини. Лі та Олденбург (1998) застосували перетворення Фур'є для розв'язання оберненої задачі гравіметрії у тривимірному варіанті. Результат цієї інверсії має приблизний вигляд для теоретичних моделей, які склалися з двох тіл, але з різною надлишковою щільністю. Верхні шари більше відповідали вхідним моделям, оскільки вони були розташовані ближче до точок спостереження. Метод було застосовано до даних гравіметрії над основною зоною сульфідного родовища Стратмат, що розташована на півночі провінції Нью-Брансвік (Канада).

Останнім часом для виконання інверсії застосовують підходи, які взято з природи, зокрема генетичний алгоритм та метод відпалювання. Перший підхід засновано на принципах біологічної еволюції. Тривимірна інверсія за еволюційним алгоритмом засвідчила повну відповідність з окремою теоретичною моделлю (Zhang et al., 2004) з однорідною густиною. Розробку було застосовано для моделювання кристалічної структури центрального Тайваню. В основі методу відпалювання лежить фізичний процес кристалізації речовини (Roy et al., 2005). Модельний розділ складався з шарів води та осадів, які лежали на фундаменті. Теоретичні приклади свідчать про достатню точність виконання інверсії із завадами на вхідних даних. Дво- та тривимірну гравітаційну інверсію було використано для визначення товщини відкладів води та льоду для озера Восток у Східній Антарктиді. Товщину верхнього (крижаного і водного) та нижнього (осадового) шарів підбирали відповідно до вертикальних розмірів блоків. Снопек (2005) використовував генетичний алгоритм для моделювання розподілу густини еллінської зони субдукції.

ОПИС АЛГОРИТМУ

Сіткова модель є найзручнішою для створення складних фігур. Вона складається з прямокутних блоків, у яких густина має своє значення (рис. 1). Цей принцип має аналогію з цифровим зображенням, сформованим із прямокутників (пікселів), які мають власний колір.

Аномальний гравітаційний ефект (Δg) для призматичного тіла в точці спостереження обчислюється за формулами (Coggon, 1976), які наведено нижче.

$$\Delta g_t = \sum_{v=1}^N g_v, \quad t = 1 \dots P, \quad v = 1 \dots N, \quad (1)$$

де t – порядковий номер гравіметричних пунктів, P – кількість точок спостереження, v – порядковий номер блоку, N – кількість блоків.

$$g_v = G \cdot \sigma \sum_i^2 \sum_j^2 \sum_k^2 S \cdot (-\alpha \cdot A_{zx} - \beta \cdot A_{zy} - \gamma \cdot A_{zz})$$

– вертикальна складова прискорення сили тяжіння для призми, де

$$\alpha = x_i - x_0, \quad \beta = y_j - y_0, \quad \gamma = z_k - z_0, \quad S = (-1)^{i+j+k}$$

$$i, j, k = 1, 2; \quad x_1 = x_0 - \Delta x / 2, \quad x_2 = x_0 + \Delta x / 2,$$

$$y_1 = y_0 - \Delta y / 2, \quad y_2 = y_0 + \Delta y / 2, \quad z_1 = z_0 - \Delta z / 2,$$

$$z_2 = z_0 + \Delta z / 2$$

– координати кутів призми;

$$\Delta x, \Delta y, \Delta z$$

– розміри призми вздовж відповідних осей x, y та z, i ;

$$r = \sqrt{\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2}$$

– відстань між точкою спостереження і кутовими точками призми,

$$s = \gamma \sin \psi + \alpha \cos \psi, \quad c = \gamma \cos \psi - \alpha \sin \psi,$$

$$l_1 = \ln(r - \beta), \quad l_2 = \ln(r - s), \quad l_3 = \ln(r - \alpha),$$

$$t_1 = \arctg\left(\frac{\beta \cdot s}{r \cdot c}\right), \quad t_2 = \arctg\left(\frac{\beta^2 \cdot \cos \psi + \gamma \cdot c}{-\beta \cdot r \sin \psi}\right),$$

$$t_3 = \arctg\left(\frac{\alpha \cdot \beta}{\gamma \cdot r}\right).$$

$$G = 0.00000667$$

– це величина, яка пов'язана з гравітаційною константою, що відповідає системі СІ з одиницями вимірювання: метр, кілограм і секунда (МКС).

$$A_{yx} = -\sin \psi \cdot l_2, \quad A_{zx} = -\sin^2 \psi \cdot l_1 - \sin \psi \cos \psi \cdot t_1,$$

$$A_{zy} = \cos \psi \cdot l_2 - l_3$$

Кут ψ – нахил призми, який встановлюють прямим для того, щоб отримати вертикальні блоки.

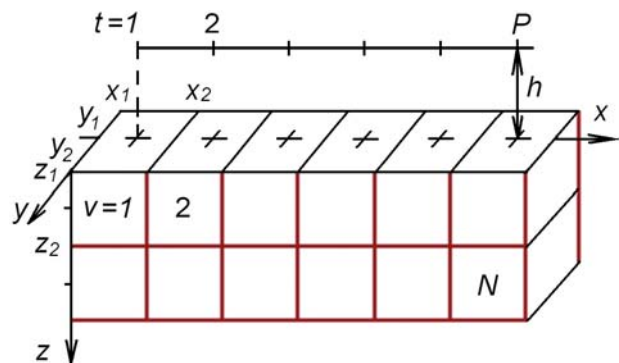


Рисунок 1. Тривимірна модель сітки з точками спостереження (t) та номерами блоків (v)

З розвитком комп'ютерних технологій значно збільшилася кількість обчислень. Це дає змогу

використовувати ітераційні алгоритми, які ґрунтуються на відбиранні великої кількості різноманітних моделей. На цьому принципі побудовано генетичний алгоритм (ГА). Під час адаптації до геофізичних задач комбінацію генів замінено на набір значень фізичного параметра, у цьому випадку – густини. Крім батьківських генів та їхньої рекомбінації є можливість мутації, тобто отримання значень густини із заданої кількості порід. Ця здатність є і по материнській лінії (Фурдуй Р.С. 2001). Тобто випадковість вирішує, чи буде використано ген матері, чи його мутація.

Розріз складається з блоків, у яких визначається щільність. Значення густини (чи комбінації генів) у блоці можна встановити шляхом випадкового вибору цього параметра з трьох варіантів: від батька, матері та мутації. Кожна модель формується, коли у всіх блоках визначено густину. Кількість моделей зазвичай береться – 16, 32, 64 чи 128. У цьому дослідженні було використано останнє значення. Для заданих моделей розраховано гравітаційне поле, яке порівнюють зі спостереженням. За їхнім найменшим відхиленням зі 128 обирають дві (батьківські) моделі, які використовують для формування наступного набору (покоління). За кращим наближенням між полем, за яким ведеться спостереження, і теоретичним гравітаційними полями відбувається процес визначення моделі.

Основним критерієм геометричної точності моделі з фіксованою щільністю є наближення обчисленого гравітаційного поля до початкового. Головна проблема полягає в обранні норми, яка дає змогу точніше визначити геометрію розрахованих моделей. Середні, середньоквадратичні та логарифмічні норми розглянуто як цільові функції, але більш стабільний результат було отримано для середньої норми градієнта аномального гравітаційного поля (Gryshchuk, 2017). Тут інверсію було виконано зі значень поля та їхніх градієнтів. Вони надають додаткову інформацію про зміну поля у визначеному напрямку. Градієнти поля тяжіння застосовують для різних завдань. Блейклі (Blakely, 1996) зазначив, що найбільші горизонтальні градієнти гравітаційного поля підкреслюють вертикальні межі моделей. Елліс та інші (Ellis et al., 2015) використовували інверсію на основі даних градієнта гравіметрії для визначення меж солі.

Тому порівняння вхідного та обчисленого полів тут проводили з використанням середнього горизонтального градієнта вздовж профілю спостереження прискорення сили тяжіння за формулою:

$$E_{град} = \frac{1}{P} \sum_{t=2}^P \frac{\left| (\Delta g_t^{вих} - \Delta g_{t-1}^{вих}) - (\Delta g_t^{роз} - \Delta g_{t-1}^{роз}) \right|}{(x_t - x_{t-1})}, \quad (2)$$

де $i = 2, \dots, P$ – кількість вихідних ($\Delta g_t^{вих}$, $\Delta g_{t-1}^{вих}$) та розрахованих ($\Delta g_t^{роз}$, $\Delta g_{t-1}^{роз}$) аномальних значень гравітаційного прискорення для відповідних координат x_t та x_{t-1}

Різницю між початковим та розрахованим гравітаційними полями визначали у відсотках за формулою:

$$E_{\%} = \frac{1}{P} \sum_{t=1}^P \left| \frac{\Delta g_t^{вих} - \Delta g_t^{роз}}{\Delta g_t^{вих}} \right| \cdot 100\%. \quad (3)$$

Похибка у відсотках (3) є універсальним критерієм у встановленні збігу теоретичних та практичних гравітаційних аномалій під час інверсії.

Розглянемо алгоритм підбирання гравітаційних мас. Вихідними даними тут є аномалії гравітаційного поля ($\Delta g_t^{вих}$). Генетичний алгоритм належить до стохастичного, оскільки випадковим чином вибирається надлишкова густина із заданого діапазону з попередніх генерацій від батьків чи мутацій. Наступним кроком є обчислення гравітаційного поля за поточною моделлю, яке проводиться за формулою 1. Далі йде порівняння початкового ($\Delta g_t^{вих}$) та розрахованого ($\Delta g_t^{роз}$) аномальних полів із використанням градієнтної норми ($E_{град}$) (2). На останньому етапі перевіряється наближення обчисленого поля до початкового (3). Цей параметр для зручності встановлено у відсотках ($E_{\%}$) і було задано малим значенням як 0,01 %. Представимо блок-схему алгоритму (рис. 2).

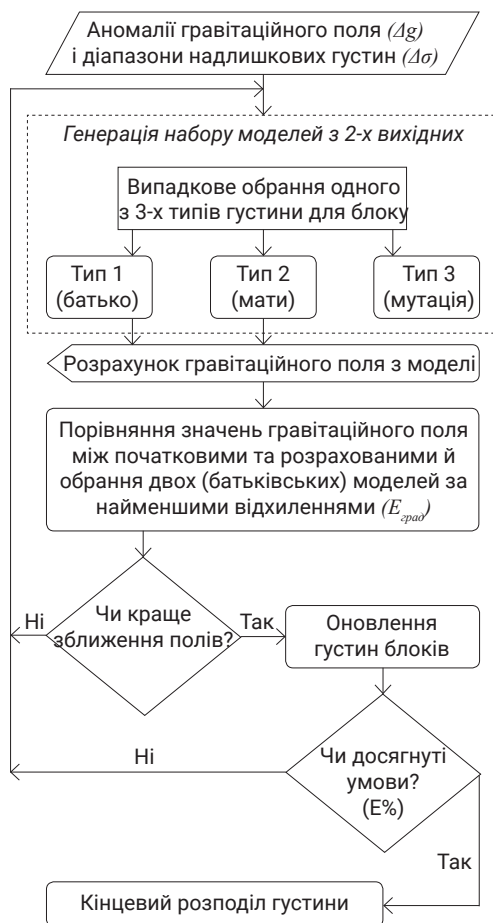


Рисунок 2. Підбирання гравітаційної моделі шляхом застосування генетичного алгоритму

ТЕОРЕТИЧНІ ПРИКЛАДИ ІНВЕРСІЇ

Розглянемо аналіз природного алгоритму на теоретичних моделях. Чотиришарова модель складалася з тіла (рис. 3, а), яке торкалося нижнього рівня вертикального перерізу. Об'єкт мав однакову надлишкову щільність ($\Delta\sigma$), яка становила 1000 кг/м^3 . Поперечний розмір блоку вздовж осі у дорівнює 100 м , що в 100 разів більше ніж його поздовжній розмір (1 м), що розташований уздовж профілю або у напрямку вісі x . Це співвідношення розмірів дає подібний результат для розрахунку гравітаційного поля за допомогою формули для двовимірної моделі (Last & Kubik, 1983).

У програмі використано середнє випадкове значення r , яке визначається за формулою

$$r = \frac{Rnd1 + Rnd2 + Rnd3}{3}$$

де $Rnd1, Rnd2, Rnd3$ – випадкові значення.

Використання середнього випадкового значення r додало поступовості у формування різних розподілів надлишкових густин. Також випадковим чином визначали кількість кубиків (N), у яких можлива зміна значень надлишкової густини. Цей спосіб значно пришвидшує та покращує результат підбирання моделі.

Застосування генетичного алгоритму дало точний результат інверсії для однорідної за густиною моделі (рис. 3, а). Дослідження засвідчили, що запропонований підхід може сприяти здійсненню точної гравітаційної інверсії за відомою надлишковою щільністю для чотирьох шарів. У цьому прикладі обрання цього параметра було здійснено для двох значень 0 або 1000 кг/м^3 .

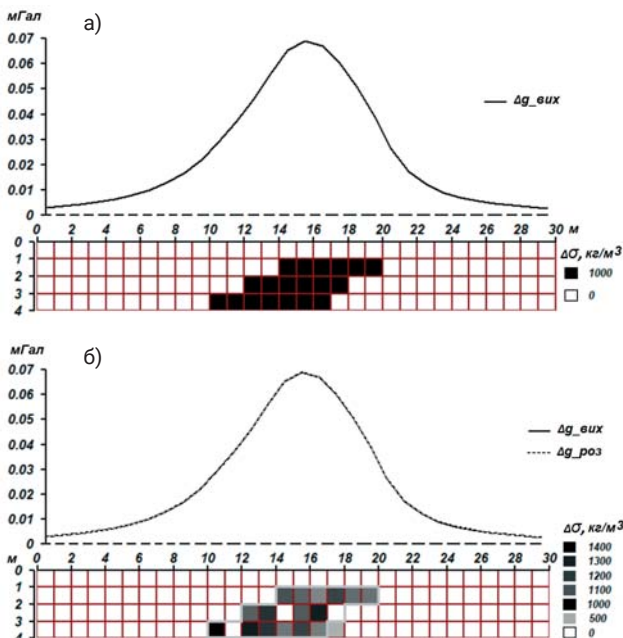


Рисунок 3. Теоретична гравітаційна аномалія для моделі з надлишковою густиною 1000 кг/м^3 (а) та її інверсія для ефективної щільності від 500 до 1500 кг/м^3 (б)

У разі виконання гравітаційної інтерпретації не завжди відоме точне значення надлишкової густини моделі, та й сам об'єкт може складатися з різних порід, тому необхідно вводити кілька значень щільності. Задамо діапазон надлишкових густин від 500 до 1500 кг/м^3 . Межі надлишкової щільності розширено на 50% від точного значення. У результаті інверсії було отримано модель (рис. 3, б), яка наближено відповідає вихідній моделі з середньою точністю $1,07\%$. Контур теоретичної моделі зображено блакитним кольором. Блоки зі збільшеною густиною компенсовані ущільненнями та пустотами.

Поведінка цільової функції під час інверсії аномальних даних прискорення сили тяжіння має плавний характер (рис. 4). Підбирання моделі для фіксованих значень надлишкової густини (0 і 1000 кг/м^3) відбулася за 57 ітерацій. Поступова зміна значень цільової функції ($E_{\text{град}}$) свідчить про ефективність підбирання параметрів теоретичної моделі за допомогою генетичного алгоритму.

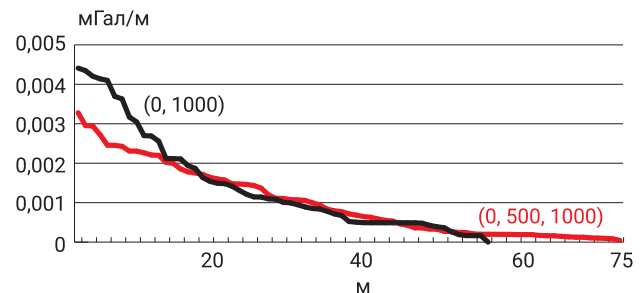


Рисунок 4. Залежність середньої норми градієнтів ($E_{\text{град}}$) гравітаційних полів від кількості ітерацій для різних значень надлишкових густин (у дужках в кг/м^3)

Створимо теоретичну модель із двох надлишкових густин 500 та 1000 кг/м^3 (рис. 5, а). Такий варіант дасть змогу визначити можливості алгоритму інверсії для складних геологічних утворень. Для цієї моделі виконано інверсію для трьох надлишкових густин $0, 500$ та 1000 кг/м^3 . Підбирання здійснено з середньою похибкою наближення між вихідною та розрахованою аномаліями $0,23\%$. Знайдена модель (рис. 5, б) загалом наближена до початкової моделі за геометричними (форма) та фізичними (густина) параметрами.

Для проведення практичної інверсії необхідно з'ясувати особливості роботи генетичного алгоритму з метою отримання параметрів, що наближені до теоретичних моделей. Також стаються випадки, коли невідомо точне значення надлишкової густини та глибина залягання геологічного тіла. Тому було здійснено підбирання моделей (рис. 3, а та 5, а) для нульової ефективної щільності та у межах значень від 0 до 1500 кг/м^3 із додаванням п'ятого шару. Результат підбирання полів для моделі з однією та двома надлишковими густинами виконано з точністю, відповідно, $1,5\%$ та $0,92\%$ (рис. 6). Контур розрахованих моделей і його розміщення наближено відповідають теоретичному тілу. Об'єкт з однорідною надлишковою щільністю краще відокремлюється, ніж модель із двома значеннями ефективної густини.

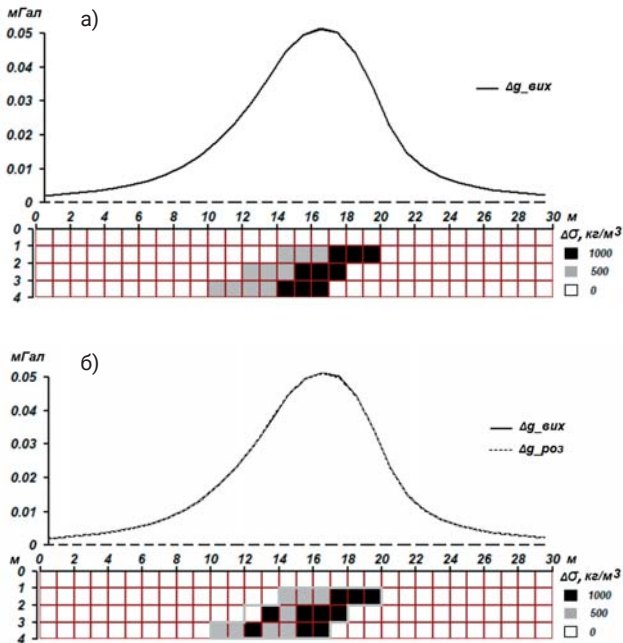


Рисунок 5. Теоретична гравітаційна аномалія для моделі з двома значеннями надлишкової густини 500 та 1000 кг/м³ (а) та її інверсія (б)

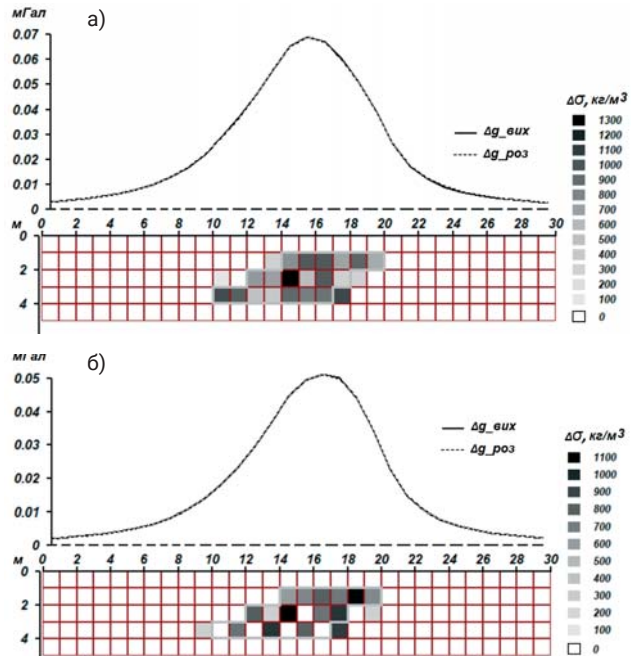


Рисунок 6. Інверсія теоретичних аномалій для діапазону значень надлишкової густини від 0 та 1500 кг/м³ для моделей з однією (1000 кг/м³) (а) та двома (500 та 1500 кг/м³) (б) надлишковими густинами

Вище було розглянуто різні варіанти інверсії теоретичних гравітаційних даних. Кращі результати було отримано, коли надлишкова густина більш точно відповідала модельній, тобто у випадку двох значень (0 і 1000 кг/м³) та трьох значень, 0, 500 і 1000 кг/м³. Натомість за діапазоном значень можна орієнтовно встановити контур моделі та її глибину. Добре підібрані моделі мали точність наближення між даними вихідного та розрахованого гравітаційних полів менше 1%.

ПРАКТИЧНЕ ВИКОРИСТАННЯ

Розглянемо застосування отриманих рекомендацій для інверсії профілю гравітаційної аномалії на прикладі нафтового родовища з району Таджикицької депресії (Абельський та ін., 1954). Геологічний розріз проходить крізь антиклінальну складку, ядро якої представлено товстим шаром вапняків палеоценового віку з густиною 2400 кг/м³ (рис. 7). Вище залягають піщано-глинисті товщі з густиною 2000–2200 кг/м³ еоценового та олігоценного часу утворення. Вапняки залягають на глибині 300 м. Такий розподіл густини та велика амплітуда підняття формують значну аномалію сили тяжіння, яка за інтенсивністю перевищує 10 мГал. Гравітаційна інтерпретація дала можливість встановити розміри Хаудазької складки.

Для гравітаційної інверсії нафтогазового родовища Північного Таджикистану використовували дані гравіметрії та надлишкової густини (табл.). Розміри сторін блоків

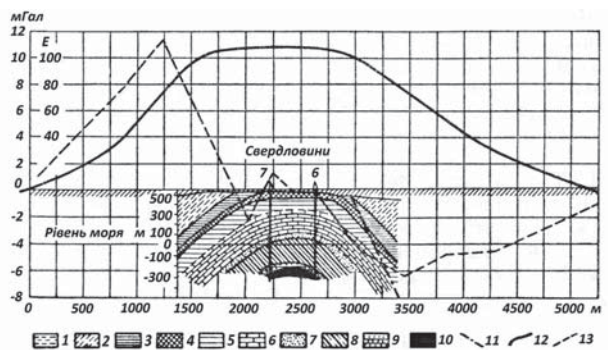


Рисунок 7. Гравітаційна аномалія над антиклінальною складкою Південного Таджикистану (Ю.М. Годін та Н.П. Туаєв).
Породи олігоценного віку: 1 – піщана товща; 2 – глиниста товща; еоценові породи: 3 – зелені глини ферганського ярусу; 4 – маркувальний горизонт L; 5 – зелені глини сузакського горизонту. Палеоценовий відділ: 6 – вапняки. Утворення сенонового віку: 7 – пісковики; 8 – глини; 9 – піщано-глиниста товща; 10 – глини; 11 – скид; 12 – аномалія прискорення сили тяжіння; 13 – його градієнт.

у площині профілю становили 200 м. Надлишкова густина була задана для значень 0–200 та 400 кг/м³. Результат інверсії засвідчив геометрію антиклінальної структури, яка розміщена на глибині 200 м і відповідає заляганню складки вапняків (рис. 8).

Таблиця. Вихідні дані для гравітаційної інверсії нафтогазового покладу

№	Назва породи	Густина (σ), кг/м ³	Надлишкова густина (Δσ), кг/м ³	Розміщення
1.	Піщано-глинисті породи	2000–2200	0–200	Верхнє залягання
2.	Вапняки	2400	400–400	В ядрі

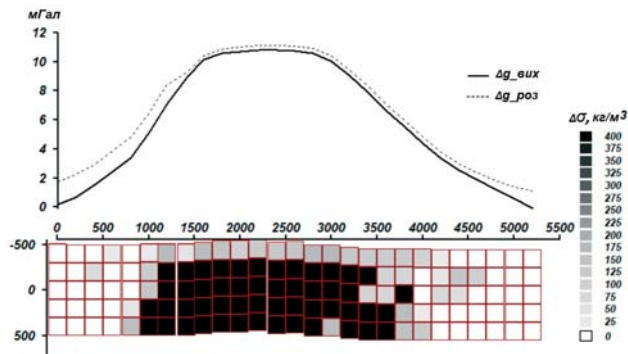


Рисунок 8. Результат інверсії гравітаційних даних над нафтогазовим родовищем Південного Таджикистану

ВИСНОВКИ

Дослідження теоретичних гравітаційних моделей проведено для чотиришарових розрізів, що складаються з прямокутних блоків. Розподіл надлишкової густини для середовища визначено шляхом застосування

генетичного алгоритму із гравітаційного профілю даних. Тіло мало одне та два значення ефективної щільності.

Для інверсії було використано аномальні дані прискорення сили тяжіння та його горизонтальний градієнт. Порівняння вихідної та розрахованої аномалії було проведено для середніх градієнтів полів. Оцінювання результатів інверсії виконано з похибкою у відсотках між заданими та розрахованими гравіметричними даними. На графіках зображено кореляцію між відсотковими відхиленнями даних гравітаційного поля та кількістю ітерацій. Інверсія для чотиришарового розрізу дала точну геометрію початкового тіла на відміну від моделі з двома значеннями надлишкової густини. Таким чином, обрання точності заданих значень ефективної щільності впливає на визначення геометрії моделей.

Генетичний алгоритм було застосовано для двовимірного моделювання аномалії гравіметрії над родовищем нафти й газу. Дані інверсії узгоджуються з даними двох наявних свердловин. Отримані результати дають можливість більш точно визначити геометрію джерел гравітаційних аномалій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Абельський М.Е., Андреев Б.А., Голомб В.Э., Самсонов Н.Н. Курс гравиразведки. Москва: Госгеолтехиздат, 1954. 358 с.
- Фурдуй Р.С. Прелесть тайны-2: Космический перекресток. Київ: Либідь, 2001. 472 с.
- Blakely R.J. Potential theory in gravity and magnetic applications. Cambridge: Cambridge University Press, 1996. P. 441.
- Coggon J.H. Magnetic and gravity anomalies of polyhedra. *Geoexploration*. 1975. Vol. 14. P. 93–105.
- Ellis R., Connard G., Popowski T., and Pouliquen G. Hybrid strategies for modelling gravity gradient data. *International Workshop and Gravity, Electrical & Magnetic Methods and their Applications (Chenghu, 9–22 April, 2015)*. Chenghu, 2015. P. 330–333.
- Fisher N. J., Howard L. E. Gravity interpretation with the aid of quadratic programming. *Geophysics*. 1980. No 45. P. 403–419.
- Gryshchuk P.I. Impact of objective function on gravitational data inversion. *Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment: XI International scientific conference (Kyiv, October 11–14, 2017)*. Kyiv, 2017. P. 161–163.
- Last B.J., Kubik K. Compact gravity inversion. *Geophysics*. 1983. No 48. P. 713–721.
- Li Y., Oldenburg D.W. 3D-inversion of gravity data. *Geophysics*. 1998. No 63. P. 109–119.
- Roy L., Sen M.K., Blankenship D.D., Stoffa P.L., Richter T.G. Inversion and uncertainty estimation of gravity data using simulated annealing: an application over Lake Vostok, East Antarctica. *Geophysics*. 2005. No 70, P. J1–J12.
- Snopek K. Inversion of gravity data with application to density modeling of the Hellenic subduction zone. *PhD Thesis Department of Geosciences at the Ruhr University*. 2005. P. 125.
- Zhang J., Wang C., Shi Y., Cai Y., Chi W.-C., Dreger D., Cheng W.-B., Yuan Y.-H. Three-dimensional crustal structure in central Taiwan from gravity inversion with a parallel genetic algorithm. *Geophysics*. 2004. No 69. P. 917–924.

REFERENCES

- Blakely R.J. Potential theory in gravity and magnetic applications. Cambridge: Cambridge University Press, 1996. P. 441 (in English).
- Coggon J.H. Magnetic and gravity anomalies of polyhedra. *Geoexploration*. 1975. Vol. 14. P. 93–105 (in English).
- Ellis R., Connard G., Popowski T., and Pouliquen G. Hybrid strategies for modelling gravity gradient data. *International Workshop and Gravity, Electrical & Magnetic Methods and their Applications (Chenghu, 9–22 April, 2015)*. Chenghu, 2015. P. 330–333 (in English).
- Fisher N. J., Howard L. E. Gravity interpretation with the aid of quadratic programming. *Geophysics*. 1980. No 45. P. 403–419 (in English).

Gryshchuk P.I. Impact of objective function on gravitational data inversion. *Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment: XI International scientific conference* (Kyiv, October 11–14, 2017). Kyiv, 2017. P. 161–163 (in English).

Last B.J., Kubik K. Compact gravity inversion. *Geophysics*. 1983. No 48. P. 713–721 (in English).

Li Y., Oldenburg D.W. 3D-inversion of gravity data. *Geophysics*. 1998. No 63. P. 109–119 (in English).

Roy L., Sen M.K., Blenkinsop D.D., Stoffa P.L., Richter T.G. Inversion and uncertainty estimation of gravity data using simulated annealing: an application over Lake Vostok, East Antarctica. *Geophysics*. 2005. No 70. P. J1–J12 (in English).

Snopek K. Inversion of gravity data with application to density modeling of the Hellenic subduction zone. *PhD Thesis Department of Geosciences at the Ruhr University*. 2005. P. 125 (in English).

Zhang J., Wang C., Shi Y., Cai Y., Chi W.-C., Dreger D., Cheng W.-B., Yuan Y.-H. Three-dimensional crustal structure in central Taiwan from gravity inversion with a parallel genetic algorithm. *Geophysics*. 2004. No 69. P. 917–924 (in English).

Abel'skij M.E., Andreev B.A., Golomb V.Je., Samsonov N.N. Kurs gravirazvedki [The course of gravity prospecting]. Moskva: Gosgeoltekhizdat, 1954. 358 p. (in Russian).

Furduj R.S. Prelest' tajny-2: Kosmicheskij perekrestok [The beauty of mystery-2: Cosmic crossroads]. Kyiv: Lybid, 2001. 472 p. (in Russian).

INVERSION OF GRAVITY DATA USING A GENETIC ALGORITHM

Pavlo
GRYSHCHUK

Candidate of Geological
Sciences, Associate
Professor
deputy director of the
digital platform
GEO Hub LLC

The genetic algorithm for the selection of gravitational sources is considered. In the basis of the approach, the principle of selection of genes from fathers and mutations was laid down, which was adapted to form geological structures. For a two-dimensional grid model, the designation of apparent density in the blocks is selected by a choice of models of two (parental) variants, in which gravitational initial and calculated anomalies coincide better. In the quality of the object function is used a middle gradient norm of gravity fields. Generation of new models for effective density in blocks is released randomly. Theoretical models were built up for one body with one and two values of apparent densities.

The theoretical sections with four layers were considered. The fitting of the model was carried out under the condition that the value of the effective density was known or a certain range was set. Each block was rectangular in shape with a square section in the plane of the gravity data profile and a limited lateral elongation. Comparison of the output and calculated anomalies of the gravitational acceleration was carried out using the average norm and the percentage error. The absence of jumps in the objective function graph ensured that an accurate model was determined. The correct geometry of a body with a homogeneous apparent density was determined at a fixed value of the effective density for four layers. The model with two values of density had some errors in determining the geometry of the bodies. The genetic algorithm, based on an evolutionary approach to certain physical parameters of blocks, performs the fitting of a gravity model rather quickly and effectively. The main factors affecting the accuracy of geometry are apparent density data.

The implemented approach allows one to estimate the cross section by the grid distribution of the effective density. The development is applied for a two-dimensional interpretation of the gravity anomaly over an oil and gas field. The resulting interpretation of the shape of the anticlinal structure is consistent with geological data.

Keywords: *gravitational inversion, model fitting, apparent density, genetic algorithm.*