

УДК 550.831.017

П. Гришук, канд. геол. наук, доц.,
E-mail: pgryshchuk@gmail.com
ТУТКОВСЬКИЙ, Міжнародний хаб природних ресурсів
вул. Дубровицька, 28, м. Київ, 04114, Україна

НОВИЙ АЛГОРИТМ ІНВЕРСІЇ ГРАВІТАЦІЙНИХ ДАНИХ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. С.А. Вижвою)

Розглянуто новий алгоритм інверсії гравітаційних аномалій. В основу підходу покладено принцип переміщення мас геологічних об'єктів, що дозволяє визначити їхню геометрію. У сітковій моделі рух виконується в чотирьох напрямках для двовимірної моделі. Випадковим чином визначається напрямок переміщення густини та її зміна. Застосування алгоритму дало змогу одержати геометрію трьох прямокутних тіл, з яких складалася модель. Було з'ясовано умови визначення достовірної форми гравітаційних джерел запропонованим підходом. Виконано аналіз інверсії аномалій прискорення сили тяжіння від трьох тіл для розрізів, які склалися з трьох, чотирьох і п'яти шарів. Тіла з однаковою густиною визначалися точно для трьох і чотирьох шарів, а з погрішностями – для п'яти. Модель з двома густинами мала деякі похибки при визначенні геометрії тіл.

Наукова новизна пов'язана з розробкою нового алгоритму, який ґрунтується на принципі переміщення густини між блоками. Запропонований підхід виконує гравітаційну інверсію значно швидше генетичного алгоритму. Практична значимість полягає у визначенні кількості шарів, коли виконується точна інверсія гравітаційних аномалій. Основними факторами, що впливають на достовірність геометрії, є дані про густину тіл і кількість шарів. Метод застосовано для інтерпретації гравітаційної аномалії над кам'яновугільними відкладами Донбасу. Модель складалася із п'яти шарів і заданого діапазону надлишкових густин для порід розрізу. За результатами інверсії було визначено глибину до поверхні вапняків, яка відповідає даним буріння. Створений підхід дозволяє отримати геометрію розрізу по розподілу щільності, що важливо для геологічних, пошукових та екологічних задач.

Ключові слова: гравітаційна інверсія, кількість шарів моделі, алгоритм переміщення мас, точність інверсії, генетичний алгоритм, кам'яновугільні пласти Донбасу.

Вступ. Гравірозвідка використовується для вирішення широкого кола задач. LaFert ma Nabighian (2012) наводять приклади застосування гравіметричних досліджень для оконтурення соляних куполів, виявлення пасок вуглеводнів, знаходження пласта-колектора у свердловині, пошуків сульфідного покладу, розвідки алмазонасних структур, моніторингу вуглеводневих резервуарів, вивченню будови земної кори та верхньої мантії.

Інверсія – це кількісна інтерпретація даних, яка ґрунтується на математичних розрахунках (Jacoby and Smilde, 2009). Визначення розподілу густини під денною поверхнею є гравітаційною інверсією і має неоднозначне вирішення. Для підвищення достовірності задається певний клас моделей. Як правило, модель обмежується простою формою. Наприклад, у методі характерних точок використовується куля, горизонтальний та вертикальний циліндри (Кошелев, 1984), які мають відомі значення густини. Для моделювання складних форм застосовується сітковий простір, який складається з окремих блоків у вигляді прямокутників. У них визначається густина і за її схожими значеннями можна отримати геометрію тіл. Така задача є нелінійною. У цьому випадку важливо з'ясувати, за якої кількості шарів отримується точний результат гравітаційної інверсії для теоретичної моделі.

Розглянемо основні підходи для інверсії аномалій прискорення сили тяжіння з прикладами використання для різної кількості шарів. Fisher ma Howard (1980) продемонстрували спосіб квадратичного програмування для тришарового середовища, яке складено прямокутними блоками. Підхід було застосовано для інтерпретації гравітаційного профілю над вугільними басейнами Galilee та Drummond у штаті Квінсленд (Австралія). Тришарова гравітаційна інверсія густини добре корелюється із сейсмічними даними. Last та Kubik (1983) розробили принцип компактного тіла для двовимірної інверсії гравітаційних моделей. Інтерпретація за цим підходом для окремих теоретичних тіл дала точний результат навіть при накладанні завад. Розріз мав 3 шари з 9 блоками в кожному. Компактну інверсію застосовано для аномалії над батолітом Guichon Creeku Британської Колумбії (Канада), який містить поклади міді. Модель складалася із чотирьох шарів, верхній з яких мав фіксоване значення

густини. Li ma Oldenburg (1998) застосували перетворення Фур'є для вирішення оберненої задачі гравіметрії в тривимірному варіанті. Модельний розріз складався із 10 шарів, в яких налічувалося 20 блоків. Результат цієї інверсії має наближений вигляд для теоретичних моделей, які склалися з двох тіл, але з різною надлишковою густиною. Верхні шари більше відповідали вхідним моделям, бо розташовувалися ближче до точок спостережень. Застосування методики виконано для гравітаційних даних сульфідного покладу Stratmat Main Zone, що знаходиться на півночі провінції Нью-Брансуїк (Канада) для розрізу із 18 шарів по 40 блоків у кожному. В останній період у задачах інверсії став застосовуватися генетичний алгоритм і метод відпалу. Перший алгоритм ґрунтується на принципах біологічної еволюції. Тривимірна інверсія за еволюційним алгоритмом засвідчила повну відповідність до окремої покідної моделі (Zhang et al., 2004). Алгоритм було застосовано до моделювання кристалічної структури центрального Тайваню для розрізу із 15 шарів по 60 блоків. Метод відпалу ґрунтується на фізичному процесі кристалізації речовини (Roy et al., 2005). Модельний розріз складався із шару води і осадків, які залягали на фундаменті. Теоретичні приклади підтвердили достатню точність при виконанні інверсії з накладанням завад на вхідні дані. Дво- та тривимірну гравітаційну інверсію було застосовано для визначення товщини води і осадків під льодом для озера Восток у Східній Антарктиці. За вертикальними розмірами блоків підбиралися товщини верхнього (лід і вода) і нижнього (осадки) шарів. По горизонталі розріз складався із 50 блоків.

Огляд результатів інверсії різними підходами дозволяє свідчити про таке (табл. 1). Двовимірна компактна інверсія дає точний результат для окремого теоретичного тіла в тришаровому розрізі, який складено із 9 блоків уздовж профілю. Тривимірна інверсія генетичним алгоритмом дає точний результат також у випадку окремого тіла для моделі із 12 шарів по 21 блоку в кожному.

Аналіз інверсійних алгоритмів підказав два завдання для впровадження. По-перше, бажано створити алгоритм, який був більше пов'язаний з утворенням геологічних об'єктів. По-друге, за наявності інверсійного алгоритму важливим є з'ясування умов, за яких виконується точна інверсія для теоретичних моделей.

Таблиця 1

Основні методики гравітаційної інверсії та їхнє застосування

Методика	Кількість блоків моделі		Приклади інверсії та густина (кг/м³)		Автори (рік)
	Вертикальних	Горизонтальних	Вірогідність	Практичний	
Двовимірна інверсія з квадратичним програмуванням	3	16	Практична інверсія підтверджується сейсмічними даними	Вугільні басейни Galilee та Drummond (Австралія) ($\sigma = 2350-2750$)	Fisher N.J. and Howard L.E. (1980)
Двовимірна інверсія компактним тілом	3	9	Теоретична інверсія точна і з 15 % завадами для окремого тіла ($\Delta\sigma = 1000$)	Батоліт Guichon Creek з покладами міді (Канада) ($\Delta\sigma = -150-0$)	Last B.J. and Kubik K. (1983)
Тривимірна інверсія на основі Фур'є-перетворень	10	20	Наближена теоретична і практична інверсія для двох тіл ($\Delta\sigma = 1000$ і 800)	Родовище міді, свинцю і цинку Heath Steele Stratmat (Канада) ($\Delta\sigma = 40-360$)	Li Y. and Oldenburg D.W. (1998)
Тривимірна інверсія з генетичним алгоритмом	12	21	Точна синтетична інверсія для окремого тіла ($\Delta\sigma = 1000$)	Кристалічна структура Центрального Тайваню ($\sigma = 2000-3000$)	Zhang J., Wang C., Shi Y., Cai Y., Chi W.-C., Dreger D., Cheng W.-B., and Yuan Y.-Q. (2004)
Дво- та тривимірна інверсія методом відпалу	2	24	Достатньо точно визначається модель, яка складається з води, осадків і фундаменту ($\sigma = 1000, 2000$ та 2500)	Визначення товщини води і осадків під льодом у фундаментах для озера Восток у Східній Антарктиці ($\sigma = 1000, 2000$ та 2700)	Sen M. K., Blankenship D.D., Stoffa P.L., and Richter T.G. (2005)

Теорія алгоритму переміщення мас. Для автоматизованого створення складних форм найбільш зручною є сіткова модель. Вона складається з прямокутних блоків, в яких густина має власне значення (рис. 1). Наведено оптимізовані аналітичні формули (Last and Kubik, 1983) для швидкого розрахунку аномалії прискорення сили тяжіння для прямокутних нескінченних блоків

$$g_i = \sum_{j=1}^N k_j \sigma_j, \quad i = 1 \dots M, \quad j = 1 \dots N, \quad (1)$$

де σ_i – густина блока, M – кількість пунктів спостережень, N – кількість блоків, k_j – коефіцієнт, який характеризує вплив блока на гравітаційне значення і розраховується як

$$k_j = 2\gamma \left[(\square + r) \log \left(\frac{r_2 r_3}{r_1 r_4} \right) + 2r \log \left(\frac{r_4}{r_3} \right) - (z + h)(o_4 - o_2) + (z - h)(o_3 - o_1) \right], \quad (2)$$

де відстані між пунктами спостережень і центрами блоків визначаються як $\square = \square_i - \square_j$, $z = z_i - z_j$, а їхні кутові точки дорівнюють

$$r_1 = \sqrt{(z - h)^2 + (\square + r)^2}, \quad r_2 = \sqrt{(z + h)^2 + (\square + r)^2},$$

$$r_3 = \sqrt{(z - h)^2 + (\square - r)^2}, \quad r_4 = \sqrt{(z + h)^2 + (\square - r)^2},$$

$$o_1 = \arctg \left(\frac{\square + r}{z - h} \right), \quad o_2 = \arctg \left(\frac{\square + r}{z + h} \right),$$

$$o_3 = \arctg \left(\frac{\square - r}{z - h} \right), \quad o_4 = \arctg \left(\frac{\square - r}{z + h} \right),$$

$\gamma = 0,0000667$ – це константа, яка пов'язана з гравітаційною сталою для відстані в метрах.

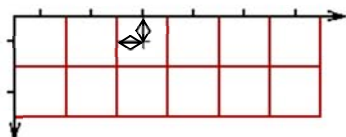


Рис. 1. Сіткова двовимірна модель з точками спостережень (i) та номерами блоків (j) з вертикальними (h) і горизонтальними (r) половинами їхніх розмірів

Для моделювання геометрії аномальних джерел гравітації потрібен алгоритм, який би нагадував природне утворення геологічних тіл. Загальним підходом для формування гравітаційної маси є скупчення порід з певними властивостями густини. Такий об'єкт може утворитися внаслідок збільшення, зменшення або переміщення маси. На основі цього принципу створено новий алгоритм. Розріз складається з блоків, в яких визначається густина. Речовина в природі може переміщуватися, тому блок наділяється здатністю рухатися в чотирьох перпендикулярних напрямках для двовимірного варіанта (рис. 2). У деяких випадках густина блока може бути перенесена з одного блока (а) до іншого (а') на значну відстань, наприклад переміщення лави або льодовика. Рух зміни густини показано стрілками. Справа ліворуч відбувається підбір густини з нижнього шару, а зліва праворуч – з верхнього шару. Послідовність перебору густини в блоках виконується в шарах з нумерацією від 1 до 6 для тришарової моделі середовища.

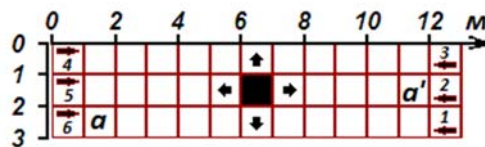


Рис. 2. Приклади руху та перенесення густини блоків

Опишемо запропонований алгоритм (рис. 3). Вхідними даними тут є аномалії прискорення сили тяжіння. Новий алгоритм належить до стохастичного, оскільки спочатку випадковим чином обирається одна із дій як вибір густини або її переміщення в інший блок (рис. 2). Наступним кроком є розрахунок гравітаційного поля від поточної моделі, який здійснюється за формулами (1–2) для двовимірного варіанта. Далі відбувається порівняння горизонтального градієнта вхідного і розрахованого полів (ф. 3). На останньому етапі відбувається перевірка наближення розрахованого поля до вхідного (ф. 4). Цей параметр задається для зручності у відсотках і дорівнює 1 % за точної інверсії. Формули, які використовуються в алгоритмі переміщення мас, наведено нижче.

Як цільові функції розглядалися середня, середньоквадратична та логарифмічна норми, але більш стабільний результат виконувався для середньої норми

градієнта аномального гравітаційного поля. Тому порівняння вхідного і розрахованого полів виконувалося за допомогою середньої норми горизонтального градієнта вздовж профілю спостережень прискорення сили тяжіння за такою формулою:

$$E_{ep} = \frac{1}{M} \sum_{i=2}^N \left| (\Delta g_i^{ex} - \Delta g_{i-1}^{ex}) - (\Delta g_i^{poz} - \Delta g_{i-1}^{poz}) \right|. \quad (3)$$

Різниця між вхідним і розрахованим гравітаційним полем визначалася у відсотках за формулою

$$E_{\%} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^N \left| \frac{\gamma_i^{ex} - \gamma_i^{poz}}{\gamma_i^{ex}} \right| \cdot 100 \%, \quad (4)$$

де $i = 1, \dots, M$ кількість вхідних (Δg_i^{ex}) і розрахованих (Δg_i^{poz}) аномальних значень прискорення сили тяжіння.

Приклади інверсії на теоретичних моделях. Аналіз роботи природного алгоритму розглянемо на теоретичних моделях. Тришарова модель складалася із трьох тіл (рис. 4, а), які розташовувалися на різних рівнях. Перше тіло не торкалося верхнього та нижнього рівнів вертикального розрізу, тобто було в проміжному положенні. Друге тіло починалося з верхнього шару, але не доходило до нижнього. Третій об'єкт був унизу і не виходив на верхню лінію розрізу. Різномірне розташування тіл дозволяло виявити особливості роботи алгоритму інверсії. Відомо, що зі збільшенням глибини об'єктів точність їхнього знаходження зменшується. Тому було збільшено на один шар конфігурацію попередньої моделі зі збільшенням товщини тіл (рис. 4, б). За аналогією було створено модель із п'яти шарів (рис. 4, в). У зазначених моделях тіла мали однакову надлишкову густину ($\Delta \sigma$), яка становила 1000 кг/м^3 . Для визначення впливу тіл з

різною густиною на результат інверсії було використано тришарову модель, в якій центральне тіло мало надлишкову густину 500 кг/м^3 , а крайні об'єкти – по 1000 кг/м^3 (рис. 4, г).

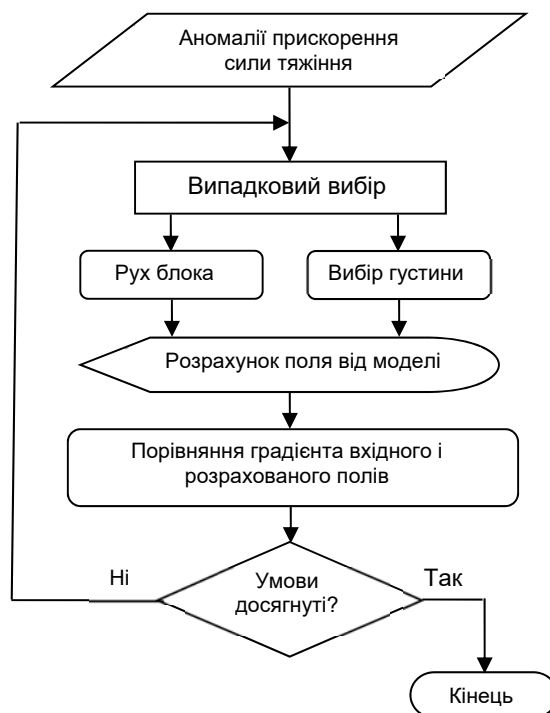


Рис. 3. Алгоритм переміщення мас для інверсії гравітаційних аномалій

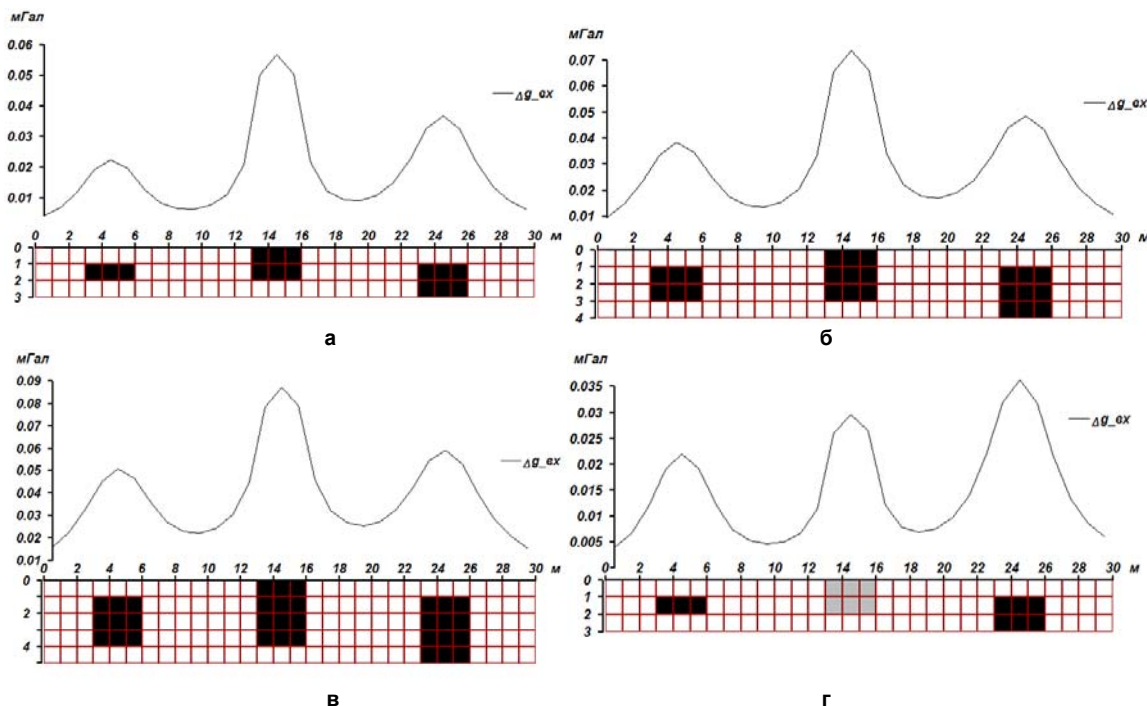


Рис. 4. Аномалії прискорення сили тяжіння над вхідними моделями, які складаються із трьох тіл ($\Delta \sigma = 1000 \text{ кг/м}^3$) для трьох (а), чотирьох (б), п'яти (в) шарів і двох надлишкових густин ($\Delta \sigma = 1000$ і 500 кг/м^3) (г)

Застосування алгоритму переміщення мас дало точний результат для моделей із трьох і чотирьох шарів. Модель із п'ятьма шарами була визначена не зовсім точно через один блок у нижньому шарі (рис. 5, а). Отже, надійно визначалася модель, яка складалася із трьох і

чотирьох шарів. Дослідження показали, що за відомої однакової надлишкової густини можна виконувати точну гравітаційну інверсію для трьох тіл. У наведених прикладах вибір цього параметра відбувався для двох значень 0 та 1000 кг/м^3 .

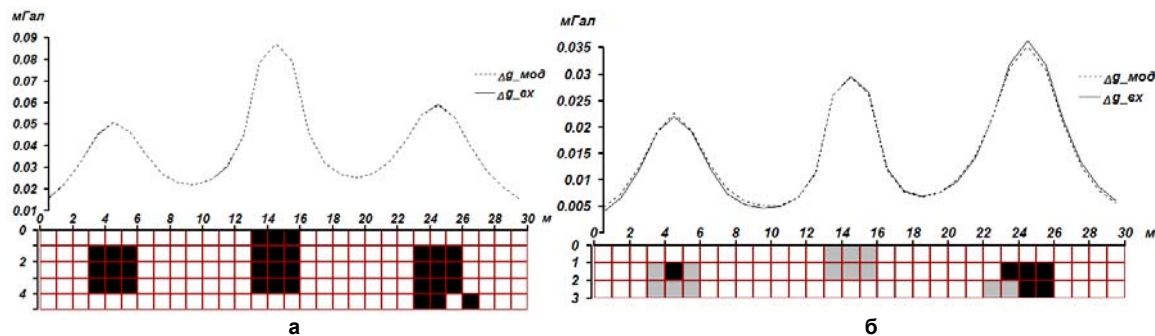


Рис. 5. Інверсія аномалій прискорення сили тяжіння для п'яти шарів (а) і двох надлишкових густин (б)

У випадку, коли модель мала три різні надлишкові густини, а саме 0,500 та 1000 кг/м³, результат інверсії вже був менш достовірний (рис. 5, б). У цьому випадку центральне тіло з меншою надлишковою густиною було визначено точно. Більше за об'ємом тіло, розташоване внизу, було добре визначено, крім одного блока. Найменший об'єкт, який розміщувався на проміжній глибині та створював найменшу аномалію, був гірше визначений за геометрією та надлишковою густиною. Отже, збільшення кількості значень густини для окремих трьох тіл ускладнює отримання правильного результату гравітаційної інверсії.

Поведінка цільових функцій при інверсії аномальних даних прискорення сили тяжіння більш плавна для моделей із трьох і чотирьох шарів на відміну від п'ятишарового розрізу (рис. 6), де один блок не зайняв правильного місця (див. рис. 5, а).

Гравітаційна інверсія новим алгоритмом виконувалася швидко і з малою кількістю ітерацій (табл. 2). Кожний шар складався із 30 квадратних блоків зі стороною 1 м. Визначення значень надлишкової густини для 90, 120 та 150 блоків становило частки секунд. Середнє значення для інверсії 3, 4 та 5 шарів становить 0,5 с. Для порівняння підбір генетичним алгоритмом для 3 і 4 шарів виконується в середньому за 43,9 с, а для нового підходу – 0,4 с. Тобто можна зазначити, що останній алгоритм працює в 120 разів швидше за генетичний.

Середня кількість ітерацій розробленого алгоритму для моделі із 3 і 4 шарів становить 21, а для генетичного – 239 (табл. 3). Таким чином, кількість ітерацій у 12 разів більше для перемішувального способу підбору густини, ніж для генетичного. Важливою перевагою є здатність нового алгоритму виконувати майже точну інверсію на один шар більше, тобто для п'яти шарів.

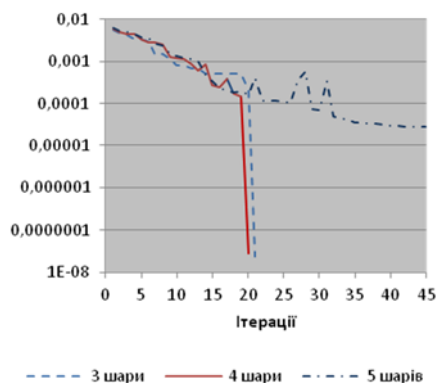


Рис. 6. Залежність середньої норми градієнта аномального прискорення сили тяжіння від кількості ітерацій для трьох, чотирьох і п'яти шарів

Таблиця 2

Результат інверсії гравітаційних даних алгоритмом переміщення густини

Кількість надлишкових густин	Кількість шарів	Кількість ітерацій	Час, с	Погрішність цільової функції, E_{gr}	Різниця вхідних і розрахованих полів, $E_{\%}$
1	3	21	0.343	2.30037e-008	0.000076544
	4	20	0.380	2.82191e-008	0.000102223
	5	45	0.75	2.81073e-005	1.91498
2	3	28	0.37	0.000241957	3.82522

Таблиця 3

Результат інверсії гравітаційних даних генетичним алгоритмом

Кількість надлишкових густин	Кількість шарів	Кількість ітерацій	Час, с	Погрішність цільової функції, $E_{град}$	Різниця вхідних і розрахованих полів, $E_{\%}$
1	3	210	3.697	2.30037e-008	7.65439e-005
	4	267	84.009	2.82191e-008	0.000102223

Приклад інтерпретації гравітаційної аномалії Донбасу. Метод переміщення маси застосовано для інверсії аномалій прискорення сили тяжіння над вугільними пластами Донбасу (Абелський і др., 1954). Вугленосні породи кам'яновугільного віку розташовані на вапняках девонського часу утворення, які залягають на породах докембрійського періоду. Виконання гравітаційної інверсії ускладнено відсутністю помітної різниці в густині порід докембрію та палеозою, а також через густинні неоднорідності в породах докембрійського та кам'яновугільного часу утворення. Відомі густини дозволили визначити їхні надлишкові значення для порід вугілля та вапняку для виконання гравітаційної підбору алгоритмом перемі-

щення густини (табл. 4). Модель складалася із п'яти шарів, в яких блоки мали розмір 500 x 300 м. Дослідження засвідчили, що вузький діапазон надлишкових густин не дає достатнього збігу розрахованого поля із вхідним. Крайній збіг гравітаційних полів та його кореляція з геологією (рис. 7) була отримана при широкому діапазоні зміни надлишкової густини (від -400 до 400 кг/м³), що відповідає різниці між густиною вапняків і вугілля, оскільки 400 - (-400) = 800 кг/м³, а саме (2700 - 1900 = 800 кг/м³).

У загальному випадку форма гравітаційної аномалії відповідає моделі уступу (LaFehr and Nabighian, 2012). Результат інтерпретації підтверджується наявною свердловиною та відповідає геологічному розрізу.

Таблиця 4

Дані для інверсії гравітаційної аномалії над вугільними пластами Донбасу

№	Порода	Вік породи	Густина(σ), кг/м ³	Надлишкова густина ($\Delta\sigma$), кг/м ³
1	Вугілля	Карбон	1900	-400+400
2	Вапняк	Девон	2600–2700	-400+400

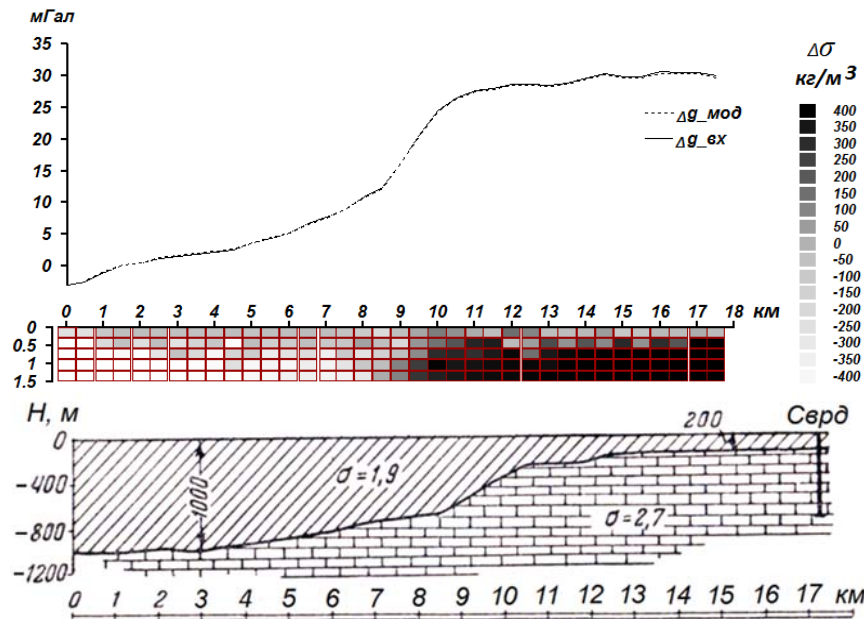


Рис. 7. Результати інверсії прискорення сили тяжіння та геологічний розріз над районом Донбасу (за М.М. Самсоновим)

Висновки. У роботі описано теорію нового алгоритму інверсії аномалій гравітаційного поля для двовимірного варіанта. Підхід ґрунтується на перенесенні мас порід, який виконується між блоками в чотирьох напрямках вертикальної площини. Точні результати інверсії отримано на теоретичних моделях для трьох і чотирьох шарів при мінімізації горизонтального градієнта аномалій прискорення сили тяжіння. Новий підхід виконує підбір моделі швидше і на один шар глибше, ніж генетичний метод. Розроблений алгоритм застосовано для інтерпретації гравітаційної аномалії над вугільними пластами в Донбасі й відповідає даним буріння. Перспективи розробки пов'язані зі збільшенням кількості шарів розрізу та зменшенням розмірів блоків.

Список використаних джерел

- Абельський, М. Е., Андреев, Б. А., Голомб, В. Э., Самсонов, Н. Н. (1954). Курс гравіразведки. Москва: Госгеолтехиздат.
 Кошелев, И. Н. (1984). Гравитационная и магнитная разведка. Практикум. Киев: Вища школа.
 Fisher, N. J., Howard, L. E. (1980). Gravity interpretation with the aid of quadratic programming. *Geophysics*, 45, 403-419.
 Jacoby, W., Smilde, P. L. (2009). *Gravity Interpretation: Fundamentals and Application of Gravity Inversion and Geological Interpretation*. Springer, Heidelberg, Germany.
 LaFehr, T. R., Nabighian, M. N. (2012). *Fundamentals of Gravity Exploration*. SEG, Tulsa.
 Last, B. J., Kubik, K. (1983). Compact gravity inversion. *Geophysics*, 48, 713-721.

- Li, Y., Oldenburg, D. W. (1998). 3-D inversion of gravity data. *Geophysics*, 63, 109-119.
 Roy, L., Sen, M. K., Blankenship, D. D., Stoffa, P. L., Richter, T. G. (2005). Inversion and uncertainty estimation of gravity data using simulated annealing: An application over Lake Vostok, East Antarctica. *Geophysics*, 70, J1-J12.
 Zhang, J., Wang, C., Shi, Y., Cai, Y., Chi, W.-C., Dreger, D., Cheng, W.-B., Yuan, Y.-H. (2004). Three-dimensional crustal structure in central Taiwan from gravity inversion with a parallel genetic algorithm. *Geophysics*, 69, 917-924.

References

- Abelskii, M. E., Andreev, B. A., Golomb, V. E., Samsonov, N. N. (1954). The course of gravity prospecting. M.: Gosgeoltekhnizdat. [in Russian]
 Fisher, N. J., Howard, L. E. (1980). Gravity interpretation with the aid of quadratic programming. *Geophysics*, 45, 403-419.
 Jacoby, W., Smilde, P. L. (2009). *Gravity Interpretation: Fundamentals and Application of Gravity Inversion and Geological Interpretation*. Springer, Heidelberg, Germany.
 Koshelev, I.N. (1984). *Gravitational and magnetic exploration. Practical work. K.: High school*. [in Russian]
 LaFehr, T. R., Nabighian, M. N. (2012). *Fundamentals of Gravity Exploration*. SEG, Tulsa.
 Last, B. J., Kubik, K. (1983). Compact gravity inversion. *Geophysics*, 48, 713-721.
 Li, Y., Oldenburg, D. W. (1998). 3-D inversion of gravity data. *Geophysics*, 63, 109-119.
 Roy, L., Sen, M. K., Blankenship, D. D., Stoffa, P. L., Richter, T. G. (2005). Inversion and uncertainty estimation of gravity data using simulated annealing: An application over Lake Vostok, East Antarctica. *Geophysics*, 70, J1-J12.
 Zhang, J., Wang, C., Shi, Y., Cai, Y., Chi, W.-C., Dreger, D., Cheng, W.-B., Yuan, Y.-H. (2004). Three-dimensional crustal structure in central Taiwan from gravity inversion with a parallel genetic algorithm. *Geophysics*, 69, 917-924.

Надійшла до редколегії 12.12.17

P. Gryshchuk, Cand. Sci.(Geol.), Assoc. Prof.,
 E-mail: pavel@univ.kiev.ua
 TUTKOVSKY, International hub of natural resources
 28 Dubrovyska Str., Kyiv, 04114, Ukraine

NEW ALGORITHM FOR INVERSION OF GRAVITATIONAL DATA

The article is devoted to the description of the new algorithm for inversion of gravitational anomalies. The principle of the geological objects mass displacement is used for definition of its geometry. In the grid model, the movement of blocks is performed in four directions for a two-dimensional model. The motion and changing of density is determined in a random style. This algorithm defined the geometry of three rectangular bodies of model. The conditions for determining the exact form of gravity sources by the proposed approach were clarified. An analysis of the inversion of gravity acceleration anomalies from three bodies for sections, which consisted of three, four and five layers, was performed. The bodies of identical density were determined exactly for three and four layers, and with errors for the five layers. The model with two densities had some errors in determining the geometry of the bodies. Scientific novelty is related to the development of new algorithm, which is based on the principle of moving

for density between blocks. The new approach fulfils gravity inversion much faster than the genetic algorithm. The practical significance is determination of the number of layers needed for a proper inversion of gravity anomalies. The main factors influencing the accuracy of geometry are the data of body density and the number of layers. The method was used for the interpretation of gravity data over the coal deposits of the Donbas. The model consisted of five layers and a range of minimum to their maximum densities for the geological section. Data of the inversion was determined by the depth to the surface of the limestone, which is confirmed by the data of the drilling. The developed approach determines the geometry of section from density, which is important for geological, search and environmental tasks.

Keywords: gravitational inversion, number of layers of the model, mass movement algorithm, inversion accuracy, genetic algorithm, coal layers of the Donbas.

П. Гришук, канд. геол. наук, доц.,

E-mail: pgryshchuk@gmail.com

ТУТКОВСКИЙ, Международный хаб природных ресурсов

ул. Дубровицкая, 28, г. Киев, 04114, Украина

НОВЫЙ АЛГОРИТМ ИНВЕРСИИ ГРАВИТАЦИОННЫХ ДАННЫХ

Рассмотрен новый алгоритм инверсии гравитационных аномалий. В основе подхода лежит принцип перемещения масс геологических объектов, что позволяет определить их геометрию. Для сеточной модели движение выполняется в четырех направлениях для двумерной модели. Случайным образом определяется направление перемещения плотности и ее изменение. Применение алгоритма позволило получить геометрию трех прямоугольных тел, из которых состояла модель. Были выяснены условия определения достоверной формы гравитационных источников предложенным подходом. Выполнен анализ инверсии аномалий ускорения силы тяжести от трех тел для разрезов, которые состояли из трех, четырех и пяти слоев. Тела с одинаковой плотностью определялись точно для трех и четырех слоев, а с погрешностями – для пяти. Модель с двумя плотностями имела некоторые погрешности при определении геометрии тел.

Научная новизна связана с разработкой нового алгоритма, основанного на принципе перемещения плотности между блоками. Предложенный подход выполняет гравитационную инверсию значительно быстрее генетического алгоритма. Практическая значимость заключается в определении количества слоев, когда выполняется точная инверсия гравитационных аномалий. Основными факторами, влияющими на достоверность геометрии, являются данные о плотности тел и количестве слоев. Метод применен для интерпретации гравитационной аномалии над каменноугольными отложениями Донбасса. Модель состояла из пяти слоев и заданного диапазона избыточных плотностей для пород разреза. По результатам инверсии была определена глубина до поверхности известняков, которая соответствует данным бурения. Созданный подход позволяет получить геометрию разреза по распределению плотности, что важно для геологических, поисковых и экологических задач.

Ключевые слова: гравитационная инверсия, количество слоев модели, алгоритм перемещения масс, точность инверсии, генетический алгоритм, каменноугольные пласты Донбасса.