

УДК 550.831.072.550.834

DOI: <https://doi.org/10.24028/gj.v47i2.322550>

Автоматизований підбір гравітаційних аномалій при пошуках родовищ корисних копалин

Т.Л. Міхеєва, О.П. Лапіна, Г.М. Дрогицька, 2025

Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, Київ, Україна

Вирішення завдань інтерпретації гравіметричних спостережень пов'язане з обробкою великих масивів різної інформації, це є причиною того, що розв'язання цих задач неможливе без використання сучасних комп'ютерних технологій.

В.І. Старостенко

Комп'ютерна автоматизована система спрямована на вивчення та розвиток методів інтерпретації даних гравітаційних і магнітних полів при розвідці родовищ корисних копалин. Створено програмно-аналітичний комплекс і розраховано типові геофізичні моделі, які можливо використовувати під час пошуків родовищ корисних копалин у межах досліджуваних регіонів.

Наведено приклади, для яких застосовано тривимірний алгоритм гравітаційного підбору з використанням апроксимаційної моделі у вигляді тристрижневої конструкції на території Торгайської нафтогазоносною області Республіки Казахстан, де відкрито нафтові родовища і зафіксовано нафто-газопрояви у свердловинах, і для габро-анортозитових масивів центральної частини Корсунь-Новомиргородського плутону Українського щита, що враховують всю наявну апріорну інформацію про фізичні та геометричні параметри аномалієзбурювальних об'єктів. У першому прикладі отримано контури перспективних ділянок для проведення прямих пошуків вуглеводнів, у другому — виділено і оконтурено у верхній частині розрізу тіла габро-

Citation: Mikheeva, T.L., Lapina, O.P., & Drogitskaya, G.M. (2025). Automated selection of gravity anomalies during the search for minerals. *Geofizychnyi Zhurnal*, 47(2), 265—269. <https://doi.org/10.24028/gj.v47i2.322550>.

Publisher S. Subbotin Institute of Geophysics of NAS of Ukraine, 2025. This is an open access article under the CC BY-NC-SA license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

анортозитів й встановлено глибину їх поширення. Ці моделі можуть бути використані для отримання додаткової достовірної геологічної інформації.

Ключові слова: тривимірне моделювання, обернена задача, метод підбору, нафтові родовища, плутон, габро-анортозити.

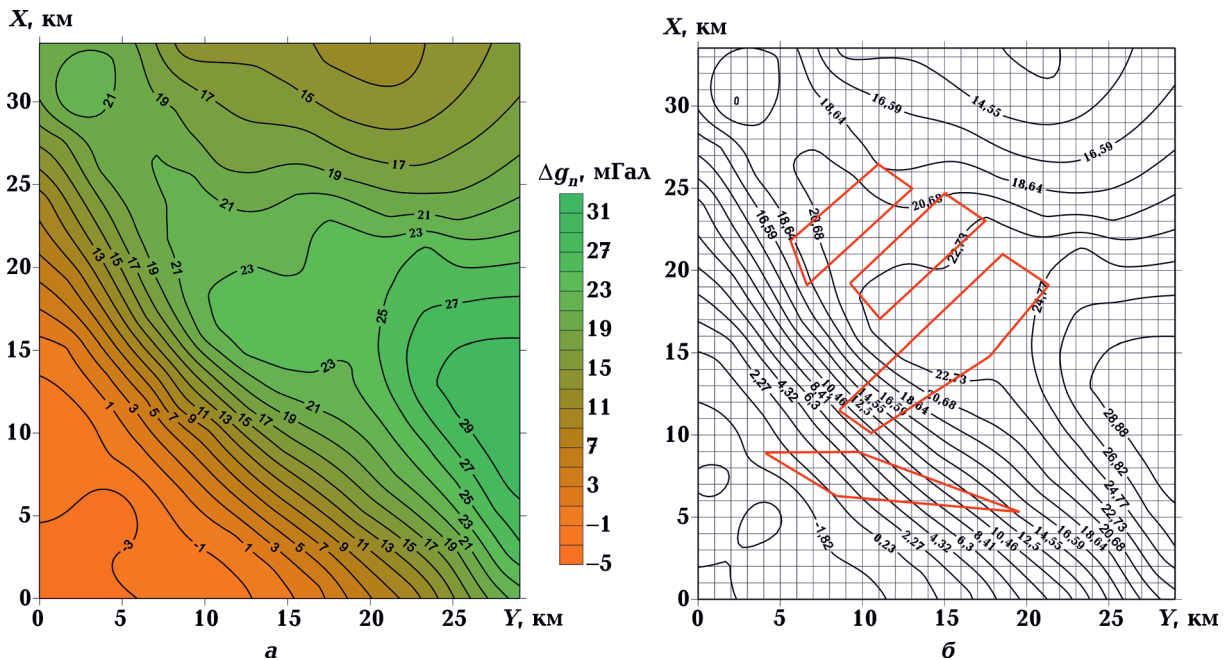
Вступ. Побудова геологічних моделей глибинної будови та окремих локальних структур нині неможлива без широкого використання геофізичних даних, інтерпретація яких залежить від рівня використаного алгоритмічного, програмного та методичного забезпечення. У зв'язку з цим проблема створення ефективних технологій процесу обробки геофізичної інформації, а також моделювання збурювальних джерел залишається однією з найбільш важливих проблем для вирішення широкого кола геологічних завдань. У практиці геологічної інтерпретації як гравітаційних, так і магнітних аномалій метод підбору отримав широкий розвиток, наприклад роботи В.І. Старостенка, Є.Г. Булаха, О.І. Кобрунова та ін. Щодо стійкості розв'язку таких задач можна впевнено говорити про стійкість градієнтного методу [Старостенко, 1978; Старостенко, Оганесян, 2001].

В основу цих розробок покладено ідеї та результати попередніх досліджень авторів: математичні методи та інформаційно-комп'ютерні технології визначення параметрів інтегральних геолого-геофізичних моделей складного геологічного середовища. Набутий великий досвід у напрямі розвитку теорії розв'язків нелінійних обернених задач гравіметрії, створення комп'ютерних технологій інтерпретації гравіметричних і магнітометричних даних з метою уточнення геологічної будови геосередовища та прогнозування родовищ корисних копалин [Корчагин и др., 2004; Булах, 2010; Лапина и др., 2016]. Запропонований комплекс методів є новим етапом геофізичних досліджень.

Використання розроблених алгоритмів при вирішенні практичних завдань. Обчислення поля, обумовленого апроксимаційною моделлю, яка зображує сукупність тривимірних стрижневих тіл. 1. Район досліджень розміщується на тери-

торії Торгайської нафтогазоносною області Республіки Казахстан, де відкриті нафтові родовища та зафіксовано нафто- і газопров'язи у свердловинах, які охоплюють горизонти від кори вивітрювання до фундаменту включно до неокому [Куадыков, 2020]. Особливий інтерес становлять локальні гравітаційні аномалії, отримані в результаті проведення високоточного гравіметричного знімання з урахуванням необхідних поправок. Проте аналіз гравітаційних аномалій без урахування неглибоких неоднорідностей може призвести до втрати точності, деталізація та рівень розрахунків якої залежить від складності геологічної будови розрізу. Так, за спостереженнями високої точності можна обчислити похідні вищих порядків і виключити вплив поверхневих неоднорідностей. Отже, поетапне усунення густинних неоднорідностей дає можливість точніше виділити аномальні ефекти, пов'язані з нафтовими родовищами. Якщо в аномальному полі внесок цих ефектів незначний, то в залишковому полі вони можуть бути домінуючими.

При розрахунках щільність проміжного шару задавали як $2,67 \text{ г/см}^3$. Усі подальші інтерпретаційні побудови базувалися на використанні аномалії сили тяжіння у редукції Буге. Досліджували ділянку розміром $40 \times 45 \text{ км}$. В аномальному полі зафіксовано 120 точок. Побудовано модель початкового наближення, що складається з 120 елементарних об'єктів. Як апроксимуючі осередки обрано тривимірні стрижневі тіла. Спочатку джерела були розташовані на глибині 1,2 км. З урахуванням апріорної інформації на всій ділянці досліджень при виборі початкової моделі задавали надлишкову густину $-0,1 \text{ г/см}^3$. На початку ітераційного циклу отримано значення функціонала $F_0 = 47704,961 \text{ мГал}^2$. Для вибору оптимального розв'язання задачі необхідним є значення середнього відхилення $\Delta_{\text{ср}}$ між вихідним і теоретичним



Результати гравітаційного моделювання Торгайської нафтогазової області (Республіка Казахстан): *а* — карта ізодинам аномалій сили тяжіння, зумовленого апроксимаційною моделлю; *б* — контури нафтових родовищ.
 The result of gravity modeling of the Turgai oil-and-gas region (Republic of Kazakhstan): *a* — isodyne map of gravity anomalies determined by the approximation model; *б* — contours of oil fields.

полями. Оптимальним було розв'язання після 10 ітерацій, значення функціонала зменшилось до прийняттого рівня: $F=1,1454 \text{ мГал}^2$, значення середнього відхилення $\Delta_{\text{ср.}}=0,039$. Побудована модель, яка найточніше описує вихідне аномальне поле, показала, що глибини центрів тяжіння збурювальних джерел варіюють від 1,1 до 1,94 км, а значення густини коливається в межах від 0,2 до 1,26 г/см³. Результати розв'язання оберненої задачі використано для побудови карти ізодинам теоретичного поля. Глибина розміщення збурювальних об'єктів досягає 2,5 км.

Отже, побудовано апостеріорну інтерпретаційну модель розподілу густинних неоднорідностей, що відповідає як спостережуваному полю, так і геологічній інформації. На рисунку показано теоретичне поле, отримане в результаті розв'язування задачі, та контури перспективних ділянок для проведення прямих пошуків.

2. Тривимірне гравітаційне моделювання габро-анортозитових масивів центральної частини Корсунь-Новомиргородського

плутону Українського щита. У межах досліджуваної ділянки було проведено тривимірне моделювання Городищенського і Смілянського габро-анортозитового комплексів і створено спільну 3D модель верхньої кори цих масивів [Міхеева та ін., 2023, 2024]. Структура анортозит-рапаківіподібної формації та гнейсів, що її оточують, різна, і це відобразилось у сейсмічних хвильових полях. Для поділу порід основного складу та гранітів рапаківі, відмінних за густиною, було виконано тривимірне гравітаційне моделювання з використанням комп'ютерної технології автоматизованої інтерпретації геофізичних даних на підставі методу підбору.

Підібрана модель у результаті розв'язання оберненої гравітаційної задачі з використанням стрижневої апроксимаційної конструкції являє собою два аномальних тіла в районі Городищенського габро-анортозитового масиву на заході та Смілянського масиву на сході з максимальною потужністю 4—5 км. До центру плутону потужність основних порід зменшується,

і на поверхні зафіксовані лише граніти рапаківі потужністю до 2 км. Максимальну потужність як гранітів рапаківі, так і габро-анортозитів встановлено в районі західного та східного контактів плутону, що являють собою великі глибинні порушення, закартовані на поверхні та зафіксовані на глибині за сейсмічними даними. У процесі розв'язування задачі застосовували різні критерії оптимізації для моделювання джерел гравітаційного поля, що дало можливість мінімізувати завади в спостережуваних даних. Об'єднання кількох функціоналів якості допомогло зменшити вплив перешкод на результати спостережень. Результати тривимірного моделювання на великій кількості вхідних даних при дослідженні габро-анортозитових об'єктів продемонстрували стійкість і надійність комп'ютерного забезпечення, а отже, можливість його використовувати

для вивчення глибинної будови подібних масивів інших плутонів.

Висновки. Наведена методика поєднує різні методи та способи інтерпретації стосовно головного цільового завдання — побудова моделі гравітаційних мас. Підхід до її побудови мав такі етапи: вибір початкової моделі; оптимізації; аналіз моделей-розв'язків та їх геологічне тлумачення. На розглянутих прикладах було обрано структуру початкової моделі та визначено її кількісну характеристику. Оптимізація моделі виконувалась у режимі автоматичного підбору. У зв'язку з багатоекстремальністю цільової функції процес мінімізації розділений на глобальний та локальний пошук у просторі. Глобальний пошук є складним завданням, тому в даному випадку вибір екстремуму для локального пошуку здійснюється шляхом вибору першої моделі з урахуванням граничних умов.

Список літератури

- Булах Е.Г. *Прямые и обратные задачи гравиметрии и магнитометрии*. Киев: Наук. думка, 2010, 463 с.
- Корчагин И.Н., Левашов С.П., Михеева Т.Л., Орлова М.И., Прилуков В.В., Якимчук Н.А., Якимчук Ю.Н., Шумик С.В. Элементы многошаговых стратегий в технологиях автоматизированного подбора гравитационных и магнитных аномалий. В сб.: *Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики*. Т. 1. Київ, 2004, С. 143—158.
- Куадыков Б. Атлас нефтяных и газовых месторождений Республики Казахстан. *Нефть и газ*. 2020. № 5(119). С. 146—150.
- Лапина Е.П., Михеева Т.Л., Панченко Н.В. Локализация геологических объектов по магнитометрическим данным с внедрением алгоритмов автоматизированного подбора. *Геофиз. журн.* 2016. № 6. Т. 38. С. 160—173. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v38i6.2016.91904>.
- Міхеева Т.Л., Дрогицька Г.М., Лапіна О.П. Гравітаційне моделювання рудних габроїдів Корсунь-Новомиргородського плутону. *Геофиз. журн.* 2023. Т. 45. № 6. С. 127—140. <https://doi.org/10.24028/gj.v45i6.293311>.
- Міхеева Т.Л., Дрогицька Г.М., Лапіна О.П. Результати гравітаційного моделювання центральної частини Корсунь-Новомиргородського плутону (Український щит). *Геофиз. журн.* 2024. Т. 46. № 6. С. 120—137. <https://doi.org/10.24028/gj.v46i6.312203>.
- Старостенко В.И. *Устойчивые численные методы в задачах гравиметрии*. Киев: Наук. думка, 1978, 228 с.
- Старостенко В.И., Оганесян С.М. Некорректно поставленные задачи по Адамару и их приближенное решение методом регуляризации по А.Н. Тихонову. *Геофиз. журн.* 2001. Т. 23. № 6. С. 3—20.

Automated selection of gravity anomalies during the search for minerals

T.L. Mikheeva, O.P. Lapina, G.M. Drogitskaya, 2025

S. Subbotin Institute of Geophysics of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

The computer automated system is aimed at the study and development of methods of interpreting data of gravity and magnetic fields in the exploration of mineral deposits.

Examples are presented that take into account all the *a priori* information about the physical and geometric parameters of anomaly-creating objects. A three-dimensional algorithm of gravity selection using an approximation model in the form of a three-bar structure was applied for the territory of the Torgai oil-and-gas-bearing region of the Republic of Kazakhstan, where oil deposits are discovered, and oil and gas shows are recorded in wells and for gabbro-anorthosite massifs of the central part of the Korsun-Novomyrhorod pluton of the Ukrainian Shield. In the first example, the contours of promising areas for conducting direct hydrocarbon searches were obtained. In the second, gabbro-anorthosite bodies were selected and outlined in the upper part of the section, and the depth of their distribution was established. These models can be used to obtain additional reliable geological information.

Key words: three-dimensional modeling, inverse problem, selection method, oil fields, pluton, gabbro-anorthosite.

References

- Bulakh, E.G. (2010). *Direct and inverse problems of gravimetry and magnetometry*. Kyiv: Naukova Dumka, 463 p. (in Russian).
- Korchagin, I.N., Levashov, S.P., Mikheeva, T.L., Orlova, M.I., Prilukov, V.V., Yakimchuk, N.A., Yakimchuk, Yu.N., & Shumik, S.V. (2004). Elements of multi-step strategies in technologies for automated selection of gravity and magnetic anomalies. In *Theoretical and applied aspects of geoinformatics* (Vol. 1, pp. 143—158). Kiev (in Russian).
- Kuadykov, B. (2020). Atlas of oil and gas fields of the Republic of Kazakhstan. *Oil and Gas*, (5), 146—150 (in Russian).
- Lapina, E.P., Mikheeva, T.L., & Panchenko, N.V. (2016). Localization of geological objects using magnetometric data with the introduction of automated selection algorithms. *Geophysical Journal*, 38(6), 160—173. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v38i6.2016.91904> (in Russian).
- Mikheeva, T.L., Drohytska, H.M., & Lapina, O.P. (2023). Gravitational modeling of ore gabroids of the Korsun-Novomyrhorod pluton. *Geophysical Journal*, 45(6), 127—140. <https://doi.org/10.24028/gj.v45i6.293311> (in Ukrainian).
- Mikheeva, T.L., Drogitska, G.M., & Lapina, O.P. (2024). Results of gravity modeling of the central part of the Korsun-Novomyrhorodsky Pluin (Ukrainian Shield). *Geophysical Journal*, 46(6), 120—137. <https://doi.org/10.24028/gj.v46i6.312203> (in Ukrainian).
- Starostenko, V.I. (1978). *Robust numerical methods in gravimetry problems*. Kyiv: Naukova Dumka, 228 p. (in Russian).
- Starostenko, V.I., & Oganessian, S.M. (2001). 3D problems according to Adamar and their approximate solution by the regularization method according to A.N. Tikhonov. *Geophysical Journal*, 23(6), 3—20 (in Russian).