

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В СТРУКТУРНІЙ ГРАВІРОЗВІДЦІ

С. Г. Анікеєв*, С. М. Багрії, Б. Б. Габльовський

ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська 15, тел. (0342) 727125,
e-mail: geophysics@nuing.edu.ua

Відповідно до призначення геофізичної розвідки інтерпретацію гравіметричних матеріалів спрямовано на пошуки і розвідку корисних копалин на тлі досліджень будови геологічного розрізу. Завданням кількісної інтерпретації, у якій використовуються методи рішення прямих та обернених задач гравірозувідки, є моделювання гравітаційного поля (пряма задача) та моделювання густинної будови геологічних середовищ (обернена задача). У статті викладено методіку гравіметричного моделювання, яку засновано на побудові неформальної послідовності еквівалентних рішень. Наведено технологічні та геологічні ознаки методів моделювання густинної будови складних геологічних середовищ, серед яких важливими є геологічна змістовність, узгодженість з апріорними матеріалами та підпорядкованість моделювання геологічним гіпотезам. Викладено актуальність, цілі і методіку імітаційного моделювання. Призначенням імітаційного моделювання є дослідження властивостей обернених задач гравірозувідки у загальній постановці, а також оцінювання ступені детальності і достовірності методіки та технологій гравітаційного моделювання, що претендують на ефективне вирішення геологічних завдань. На прикладі імітаційного випробування методіки неформальної послідовності еквівалентних рішень структурної оберненої задачі показано, що комплексна інтерпретація даних сейсморозвідки і гравірозувідки надає можливість детально відтворювати будову структурних розрізів у геогустинних моделях. Досліджено шляхи підвищення достовірності гравітаційного моделювання структурних розрізів та визначено, що кращим наближенням регіонального фону є нахилена площина, яка апроксимує спостережене поле сили тяжіння на ділянках площі досліджень, які найкраще вивчено. Також, підвищення достовірності результатів моделювання можна досягти за рахунок перебудови ближніх бокових зон у моделях структурного типу в інтерактивному процесі рішення обернених задач гравірозувідки. Змістовність моделювання перш за все залежить від досвіду інтерпретатора, оскільки комп'ютерні технології рішення прямих та обернених задач гравірозувідки є лише інструментом інтерпретації.

Ключові слова: геологічний розріз, гравірозувідка, методіка інтерпретації, обернена задача гравірозувідки, гравітаційне моделювання, апріорна модель, еквівалентна модель, структурна модель.

В соответствии с предназначением геофизической разведки интерпретацию гравиметрических материалов направлено на поиски и разведку полезных ископаемых на основе исследований строения геологического разреза. Задачей количественной интерпретации, при которой используются методы решения прямых и обратных задач гравиразведки, является моделирование гравитационного поля (прямая задача) и плотностного строения геологических сред (обратная задача). В статье изложена методика гравиметрического моделирования, которая основана на построении неформальной последовательности эквивалентных решений. Приведены технологические и геологические признаки методов моделирования плотностного строения сложных геологических сред, среди которых важными являются геологическая содержательность, согласованность с априорными данными и подчиненность моделирования геологическим гипотезам. Изложены актуальность и методика имитационного моделирования. Предназначением имитационного моделирования является исследование свойств обратных задач гравиразведки в общей постановке, а также оценка степени детальности и достоверности методіки и технологий гравитационного моделирования, которые претендуют на эффективное решение геологических задач. На примере имитационного опробования методіки неформальной последовательности эквивалентных решений структурной обратной задачи показано, что комплексная интерпретация данных сейсморазведки и гравиразведки представляет возможность создания детальных плотностных моделей структурных разрезов. Исследованы пути повышения достоверности гравитационного моделирования структурных разрезов и выявлено, что лучшим приближением регионального фона является наклонная плоскость, которая аппроксимирует наблюдаемое поле силы тяжести на участках площади исследований, которые лучше изучены. Также, повышение достоверности моделирования можно достичь за счет перестроения ближних боковых зон в моделях структурного типа в интерактивном процессе решения структурных обратных задач гравиразведки. Содержательность моделирования прежде всего зависит от опыта интерпретатора, поскольку компьютерные технологии решения прямых и обратных задач гравиразведки являются лишь инструментом интерпретации.

Ключевые слова: геологический разрез, гравиразведка, методіка интерпретации, обратная задача гравиразведки, гравитационное моделирование, априорная модель, эквивалентная модель, структурная модель.

In accordance with the purpose of geophysical exploration, the gravity data interpretation is aimed at prospecting mineral resources which is based on the study of the geological cross-section structure. The task of quantitative interpretation, which uses methods of gravity modeling and gravity inversion, is the modelling of a gravity field (gravity modeling) and of a density structure of geological environments (gravity inversion). The article presents the definition and steps of the gravity data modelling technique. This technique is based on the construction of an informal sequence of equivalent solutions. The technological and geological features of methods for modelling the density structure of complex geological environments are given; among them geological content, consistency with a priori data and the subordination of modelling to geological hypotheses are important. The topicality and methods of simulation modelling are outlined. The purpose of simulation modelling is to study the properties of gravity inversion in the general formulation, as well as to evaluate the degree of detail and reliability of the methods and technologies of gravity modelling, which claim to be an effective solution to geological problems. The example of structural simulation testing of the methods of informal sequence of equivalent solutions and its computer technologies shows that a complex interpretation of seismic and gravity measurements data enables the creation of detailed density models of structural cross-sections. The ways of increasing the veracity of gravity data modelling of structural cross-sections have been studied. It is revealed that the best approximation of the regional background is an inclined plane which approximates the observed field of gravity according to characteristic pickets over the research areas that are better studied. The increase in the veracity of modeling can also be achieved by rebuilding the near side zones in the structural type models in an interactive process of solving structural gravity inversion problems. Substantive modeling depends primarily on the experience of the interpreter since computer technologies for gravity modeling and gravity inversion are merely an interpretation tool.

Key words: geologic cross-section, gravity prospecting, method of interpretation, gravity inversion, gravity data modelling, a priori model, equivalent model, structural model.

Вступ. Ступінь достовірності технологій гравітаційного моделювання густинної будови геологічних розрізів потрібно оцінювати на тестових прикладах, які максимально наближені до реальних умов вирішення геологічних завдань. Випробовування комп'ютерних інтерпретаційних систем рішення прямих та обернених задач гравірознавства на густинних моделях, які є апроксимаціями складнопобудованих геологічних середовищ, В. М. Страхов називає імітаційним моделюванням [1, 2]. А змістовність і достовірність оцінювання інтерпретаційних можливостей геофізичних методів власне імітаційним моделюванням залежить від близькості моделей до реальної будови геологічних розрізів та від актуальності геологічних завдань.

На переконання В. М. Страхова максимальне використання імітаційного моделювання є *методологічним принципом* теорії і практики інтерпретації потенціальних полів. Як на етапі проектування геофізичних досліджень, так і на етапі прийняття шуканої інтерпретації експериментальних даних доцільно виконувати спеціальне тестове моделювання; при цьому на етапі проектування воно має забезпечити правильну організацію робіт і оцінити необхідний об'єм спостережень, а на заключному етапі забезпечити оцінювання надійності та точності результату інтерпретації [1]. Однак і до цього часу імітаційне моделювання використовується у недостатньому об'ємі, особливо при розробці схем інтерпретації.

Ускладнення геологічних завдань, накопичення геолого-геофізичної інформації та розви-

ток комп'ютерних технологій спричиняють автоматизацію геологічної інтерпретації геофізичних матеріалів, метою якої має бути поглиблення змістовності, достовірності, детальності, точності та оперативності прийняття модельних рішень, а також сприяють появі новітніх методів інтерпретації геофізичних матеріалів, таких наприклад, що ґрунтуються на принципах "інтегральної інтерпретації" (синонімами є «інтегрована інтерпретація» та «комплексна інтерпретація»; перші переважно використовуються у західній літературі, останній – у вітчизняній, що є практично єдиною відмінністю між ними [3]), і які, як стверджують її автори [4, 5], дозволяють перейти від вивчення будови геологічного розрізу до регіонального та локального прогнозу корисних копалин. Вважаємо, що традиційні методи пасивної комплексної інтерпретації (у термінах В. М. Страхова) гравіметричних матеріалів актуальні і сьогодні, оскільки комп'ютерні технології є лише інструментом, який може забезпечити оперативність, геологічну змістовність, детальність та візуалізацію інтерпретації. Детальність і достовірність модельних побудов залежать від багатьох факторів, серед яких інформаційна база, апроксимаційні конструкції геологічного середовища та професійний рівень інтерпретатора є домінуючими.

Дану роботу присвячено питанням оцінювання ступені достовірності і детальності структурних моделювань геологічних середовищ за методикою [6], започаткованою на *критеріальному підході* до рішення обернених задач гравірознавства [7] з використанням 2D/3D технологій

швидкого рішення прямих і обернених задач гравірозвідки для моделей *великої розмірності* ($\geq 10^5$ параметрів) [8].

Про методику моделювання густинної будови геологічних середовищ

З огляду на складність будови геологічних розрізів та ідей критеріального підходу методи рішення обернених задач гравірозвідки (ОЗГ) повинні “працювати” на широкому класі функцій, що квадратично інтегруються, та забезпечувати *формальну геологічну змістовність* цих рішень, що означає умову обмеження рішень рамками можливих геологічних ситуацій.

Важливими технологічними ознаками моделювання, на думку авторів, є наступні:

1. Швидке рішення прямих та обернених 2D/3D задач гравірозвідки для моделей великої розмірності.

2. Ефективна апроксимаційна конструкція, якою є, наприклад, щільна “упаковка” середовища великою кількістю маленьких паралелепіпедів.

3. Регуляризація процесу рішення ОЗГ не лише з необхідності зменшення “впливу похибок у полі” і підвищення стійкості рішень, а й підвищення їхньої формальної геологічної змістовності (геологічно детермінований вибір параметрів регуляризації та забезпечення гладкості рішень методом “великих ітерацій” [9]).

4. Формалізовані критерії узгодженості можливих рішень з апріорними геолого-геофізичними матеріалами.

5. Можливість врахування впливу будови бокових зон та регіонального фону.

Геологічні ознаки методики моделювання (залежно від неоднозначності рішень ОЗГ):

1) геологічна змістовність рішень (*принцип складнопобудованості*);

2) узгодженість з апріорними матеріалами (*принцип підпорядкованості*);

3) вплив геологічних гіпотез на моделювання (*принцип професіоналізму*);

4) формулювання та аналіз низки геологічних гіпотез (*принцип еквівалентності*).

Одним із шляхів розвитку методів кількісної інтерпретації гравіметричних матеріалів, які ґрунтуються на вказаних принципах, є запровадження імітаційного моделювання [10].

Методику гравіметричного моделювання [6] засновано на побудові “неформальної послідовності еквівалентних рішень”, суть якої полягає у наступному.

Апріорним даним властива неоднозначність, тому на їхньому ґрунті можна сформу-

лювати низку гіпотез про будову геологічного середовища. Апріорні дані і гіпотези формалізуються у вигляді апріорних (первинних, “нульових”) моделей і проекторів (обмежень). Апріорна модель середовища (АМС) і проектири складають зміст основних критеріїв, за якими досягається рішення ОЗГ з наперед заданими властивостями. Отже результатом рішення є одна з ε -еквівалентних моделей середовища (ЕМС). Важливо, що така ЕМС є модельною реалізацією формалізованої гіпотези. Тут параметр ε вказує на допустиму формальну похибку, з якою отримане рішення. Метою методики моделювання є вибір з низки ЕМС найбільш оптимальної моделі середовища (ОМС).

Ідеї інтерпретації не одного з можливих рішень ОЗГ, а їх певної родини розглядалися у роботах В. М. Страхова [11], А. В. Цирульського [12], В. М. Берьозкіна [13] та О. І. Кобрунова [14]. У цих роботах йде мова про способи побудови родини ЕМС лише формально, геологічні точки зору пропонується приймати до уваги тільки на етапі порівняльного аналізу елементів родини. Принциповою відмінністю даної методики є наголос на геологічну сутність моделювання з перших кроків побудови родини ЕМС. Інструментом методики побудови неформальної послідовності еквівалентних рішень є технології швидкого 2D/3D моделювання, про актуальність розробки яких для моделей великої розмірності сказано ще у роботах В. М. Страхова [15, 16].

Кроки інтерпретації гравіметричних матеріалів за методикою неформальної послідовності:

1) *формування* геологічних гіпотез;

2) *формалізація* гіпотез \rightarrow АМС;

3) *реалізація* гіпотез \rightarrow ЕМС;

4) *інтерпретація* родини ЕМС \rightarrow ОМС.

Інтерпретацію родини ЕМС спрямовано на звуження потужності родини, підвищення вірогідності та детальності її елементів. Чисельність гіпотез зменшується за рахунок тих, реалізації яких є геологічно беззмістовними або суперечать їм по суті. Підвищення вірогідності досягається виявленням особливостей, що зберігаються, або проявляються у більшості ЕМС. За аналізом ЕМС можливе переформування та деталізація власне гіпотез. Кінцевою метою інтерпретації є обмежене число однаково ймовірних ЕМС або ОМС. Методика інтерпретації гравіметричних матеріалів (рис. 1) є втіленням досвіду з чисельного моделювання густинної будови геологічних середовищ ([6] та ін.).

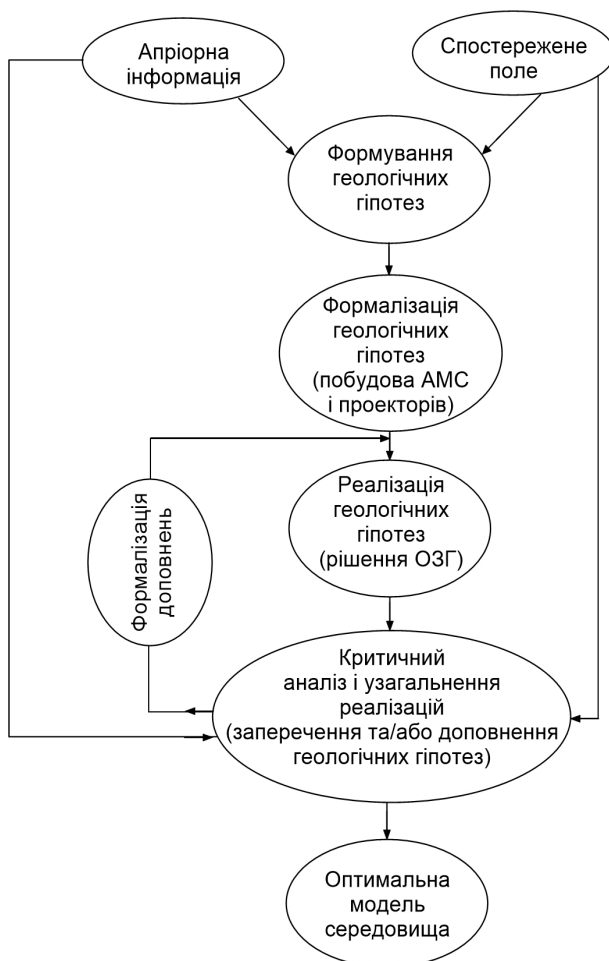


Рисунок 1 – Схема побудови оптимальної моделі середовища

Методика імітаційного моделювання

Наведемо цілі імітаційного моделювання.

1. Дослідження властивостей ОЗГ. У зв'язку з ускладненням геологічних завдань дослідження можливостей комп'ютерних технологій рішення ОЗГ слід упроваджувати на моделях розподілу геометрії геогустинних границь або густин як функцій координат.

2. Випробовування технологій моделювання на ступінь відповідності їхніх апроксимаційних конструкцій вимогам універсальності і достатньої детальності опису реальних геологічних середовищ: обмеження на розмірність і швидкодію; на геологічну змістовність і ступінь достовірності рішень ОЗГ; на можливість опрацьовувати детальні (великої розмірності) моделі геологічних середовищ, особливо для невеликих площ, що актуально при дослідженні динаміки приповерхневих посттехногенних явищ.

3. Набуття досвіду з моделювання, з встановлення зв'язку між параметрами геологічного розрізу та локальними аномаліями поля у просторі і у часі.

4. Оцінювання доцільності і ефективності гравірозвідки, визначення прийомів інтерпретації гравіметричних матеріалів у конкретних умовах.

Так, імітаційне моделювання сприяло аналізу залежності між властивостями ОЗГ та геологічною змістовністю її рішень. Наприклад, під сумнівом опинився традиційний підхід до оцінювання параметрів регуляризації нестійкості обернених задач, а також мала кількість ітерацій для досягнення необхідного рішення як «апріорі позитивна» характеристика технологій [9]. Цікавим прикладом формального імітаційного моделювання є дослідження впливу вмісту ядра лінійного оператора критеріального підходу на еквівалентні рішення ОЗГ [14].

Технології імітаційного моделювання повинні бути максимально наближеними до умов реального інтерпретаційного процесу, тобто ускладнені впливом бокових зон, регіональним фоном, детальним описом геологічної ситуації. З огляду на необхідність побудови низки ЕМС технології мають бути швидкими.

Методика імітаційного моделювання густинної або структурної будови геологічних середовищ, а також просторово-часових змін у їхній геогустинній будові є наступною (рис. 2):

1. Створення імітаційної («реальної») моделі середовища (ІМС).

2. Рішення прямої задачі для ІМС та обрання теоретичного (імітаційного) поля у якості «спостереженого» поля.

3. Формування «апріорних» даних, а саме визначення змін або спрощень в ІМС, які є умовними «відомостями» про будову ІМС, та формалізація цих даних у вигляді АМС.

4. Формулювання «геологічного завдання» щодо відновлення ІМС.

5. Формування «геологічних гіпотез» про «ймовірну» будову ІМС.

6. Формалізація гіпотез у вигляді низки ймовірних доповнень до АМС.

7. Реалізація гіпотез (побудова ЕМС, коли початковим наближенням є відповідна АМС та проєктори) за методикою та технологіями рішення ОЗГ, що випробовуються.

8. Порівняльний аналіз АМС і низки ЕМС з метою вибору ОМС, або формулювання нових гіпотез.

9. Порівняння ОМС і ІМС та оцінювання вірогідності її точності відтворення елементів ІМС в ОМС.

10. Висновки щодо інтерпретаційних можливостей методів моделювання.



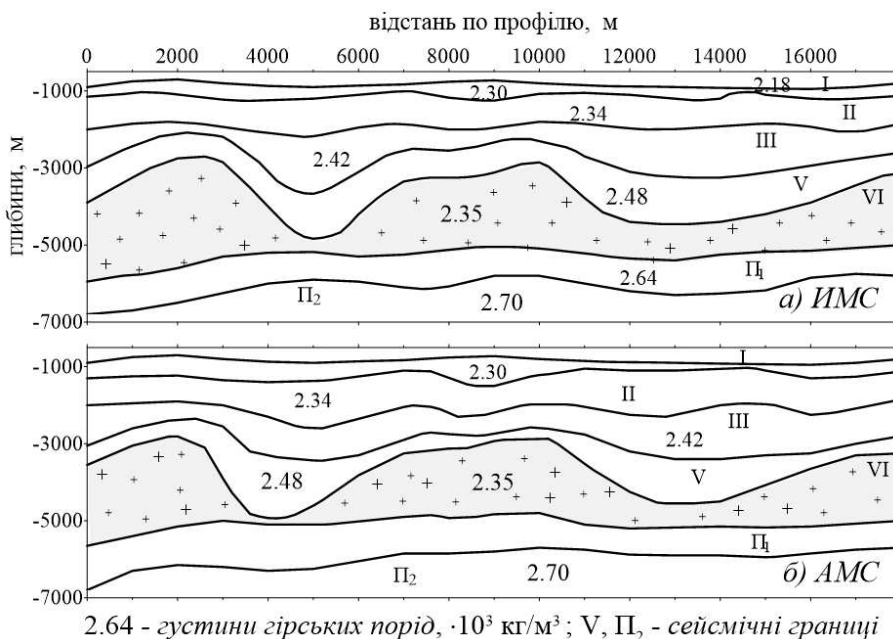
Рисунок 2 – Схема імітаційного моделювання

Приклад імітаційного моделювання структурного розрізу солянокупольного типу

Метою імітаційного гравітаційного моделювання є оцінювання ефективності комп'ютерних технологій рішення ОЗГ та методики їх застосування.

У роботі [17] для демонстрування геологічної ефективності пластової міграції часових розрізів використано синтетичну (імітаційну) структурну модель (рис. 3а). Сейсмогеологічна модель (рис. 3б), породжена міграцією синтетичного часового розрізу, відмінна від імітаційної моделі зміщенням геометрії границь, яке з глибиною зростає до 500÷800 м, а також горизонтальним зміщенням надсоліової мульди до 1000 м. Результати сейсмічного моделювання використано для випробовування можливостей структурного гравітаційного моделювання у пасивній комплексній інтерпретації сейсмогравіметричних матеріалів.

«Геологічною задачею» є уточнення геометрії сейсмогеологічної моделі за «спостереженим» полем сили тяжіння. Як ІМС прийнято імітаційну структурну модель (рис. 3а). «Спостереженим» полем є розраховане поле ІМС. Апріорними даними (АМС) є сейсмогеологічна модель (рис. 3б). Також відомими «за даними буріння» є густини гірських порід по розрізу та оцінка похибки структурних побудов, які використовуються як обмеження на можливі варіації геометрії границь відносно АМС. Відповідно до «геологічної гіпотези» відхилення АМС від «реальної моделі» розрізу (ІМС) не перевищують згадані обмеження (табл. 1).



2.64 - густини гірських порід, $\cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$; V, П₂ - сейсмічні границі

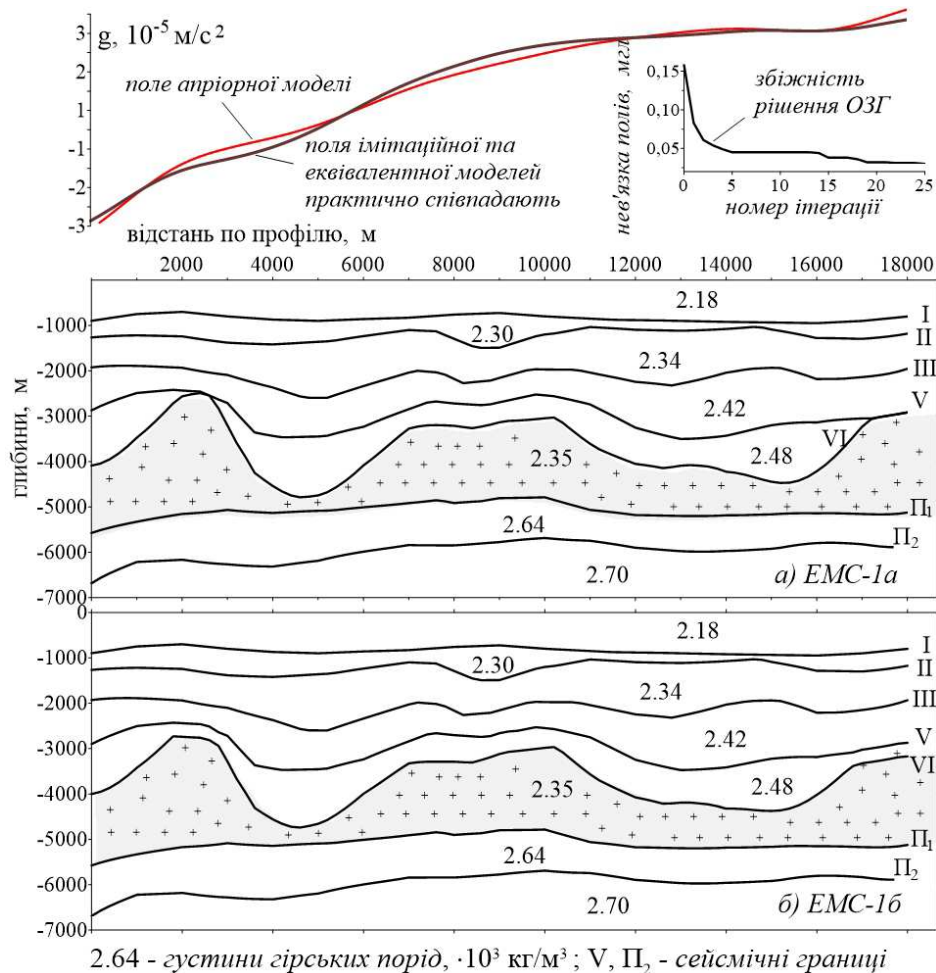
Рисунок 3 – Імітаційна (а) та сейсмологічна (б) модель структурного розрізу

Таблиця 1 – Точність побудов сейсмогеологічних границь

II - ±350 м	V - ±700 м	П ₁ - ±800 м
III - ±600 м	VI - ±1200 м	П ₂ - ±800 м

Таблиця 2 – Допустима товщина пластів, що вище відповідного горизонту

	H _{min}	H _{max}		H _{min}	H _{max}		H _{min}	H _{max}
II	50 м	1000 м	V	50 м	1600 м	П ₁	300 м	2250 м
III	50 м	1500 м	VI	500 м	2000 м	П ₂	500 м	2000 м



2.64 - густини гірських порід, ·10³ кг/м³; V, П₂ - сейсмічні границі

Рисунок 4 – Еквівалентні моделі структурного розрізу

Враховуючи «інформацію» щодо варіацій товщини пластів по розрізу, геологічну гіпотезу доповнено обмеженнями на товщини пластів (табл. 2).

Імітаційне моделювання за визначенням максимально наближене до умов практики, тому у модельних полях враховано вплив бокових зон та регіонального фону. У даних моделюваннях бокові зони задано як горизонтальне подовження границь за межі АМС, а регіональний фон, тобто вплив частини земної кори, що нижче області досліджень, апроксимовано лінійною складовою.

Моделювання-1 (рішення структурної ОЗГ) виконано без застосування жорстких об-

межень на можливі зміни геометрії границь у моделі. Результат (EMC-1a) представлено на рис. 4a. «Регіональний фон» під час моделювання визначено площиною. У центральній частині EMC-1a товщину пластів над соляним куполом збільшено, а мульда зміщена у бік «реального» положення. Однак геометрія границь у крайовій зоні, перш за все гравіакивна поверхня солі, суттєво відмінні від ІМС. При застосуванні обмежень (доповнень АМС, які використовуються для спрямованого еквівалентного перерозподілу мас) на товщину пластів (табл. 2) отримано EMC-1б, яка більш близька до ІМС (рис. 4б).

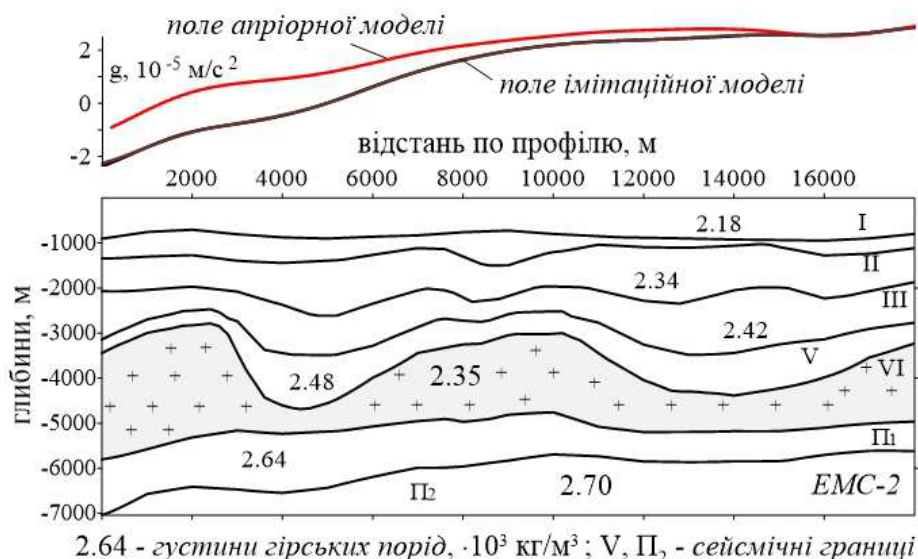


Рисунок 5 – Еквівалентна модель структурного розрізу

Таблиця 3 – Точність побудов сейсмогеологічних границь

II - ±5 м	V - ±5 м	П ₁ - ±5 м
III - ±5 м	VI - ±60 м	П ₂ - ±5 м

Моделювання-2 виконано за варіантом визначення регіонального фону нахилою площиною, яку приведено до рівня нахилу правої гілки поля ІМС (по заданих пікетах) за припущенням, що у цій ділянці профілю границі розрізу є найбільш пологими і тому, за принципом довіри до сейсмічних побудов, вони є найбільш достовірними. Порівняно з попереднім моделюванням у EMC-2 крайові зони зазнали найменших спотворень (рис. 5).

Зазначимо, що регіональний фон бажано апроксимувати нахилою площиною. На думку О. К. Маловічко це є обґрунтованим компромісом [18]. Імітаційне моделювання дозволяє дослідити вплив способу визначення лінійного фону на рішення ОЗГ. Поле ІМС, тобто «спостережене» поле може і не містити фон, але під час рішення ОЗГ він вираховується, що тільки наближає умови моделювання до практики, коли параметри фонові складової нам невідомі. Неминуча втрата частини лінійної складової поля та спотворення аномального поля за рахунок неточного вираховування впливу бокових зон горизонтальним подовженням границь знижують достовірність рішень ОЗГ, особливо у крайових зонах, які у даному моделюванні наближено оцінено у ±2000 м.

Середня частина розрізу створених EMC-1а, 1б, EMC-2 (рис. 4, 5) незалежно від варіанту лінійного фону порівняно з АМС більш ближча до ІМС. Перш за все це стосується горизонтів V та VI. Геометрія інших, більш пологих горизон-
тів (і тому менш гравіактивних) практично не зазнали змін. Це зумовлено як впливом визначення регіонального фону, так і ступенем гравіактивності горизонтів. Так, в одному з низки моделювань (у статті не представлено), коли у якості АМС було використано верхню частину ІМС, а горизонти П₁ і П₂ відтворено за сейсмогеологічною моделлю, у процесі рішення ОЗГ нев'язку полів було зведено практично до нуля за рахунок автоматизованого підбору геометрії горизонтів верхньої частини розрізу у межах всього ±20÷30 м.

Моделювання-3 виконано з припущення, що сейсмозвідкою простежено поверхню солі дуже приблизно (горизонт VI), але відомо, що геометрію інших горизонтів представлено в АМС досить точно. "Апріорною інформацією" враховано нежорсткі обмеження на поведінку границь як ступінь ймовірних варіацій геометрії границь (табл. 3), що реалізовано у параметрах регуляризації рішення ОЗГ. Фон визначено за характерними пікетами, у якості яких обрано крайові точки профілю. Побудована EMC-3 (рис. 6) добре корелює з ІМС.

Моделювання-4 відрізняється відсутністю інформації про геометрію горизонту VI, крім як, наприклад за трьома-чотирма свердловинами (рис. 7). Побудована EMC-4 (рис. 8) із застосуванням жорстких обмежень на товщину пластів (див. табл. 2) та на варіації геометрії границь (табл. 4), як і при попередніх моделюваннях, менш достовірною у крайових зонах.

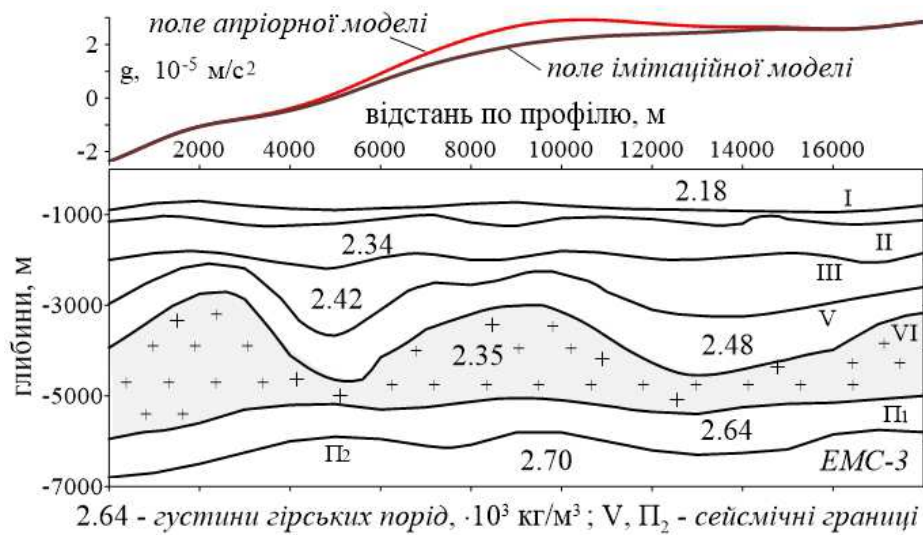


Рисунок 6 – Еквівалентна модель структурного розрізу

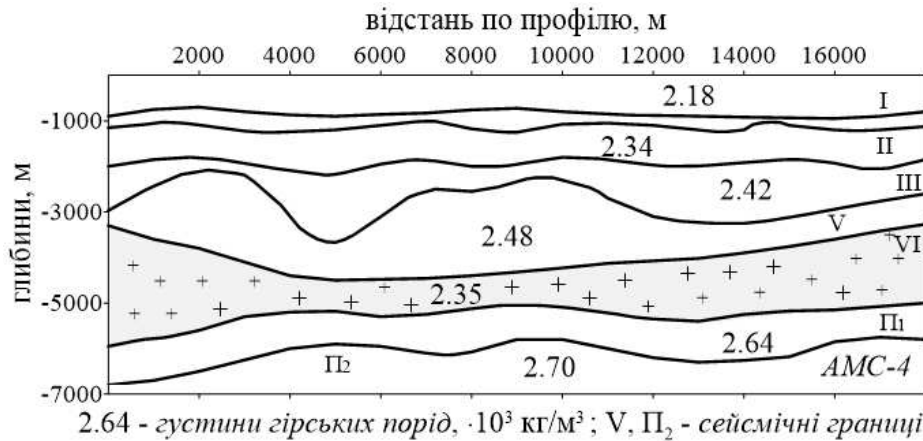


Рисунок 7 – Априорна модель структурного розрізу (для побудови EMC-4)

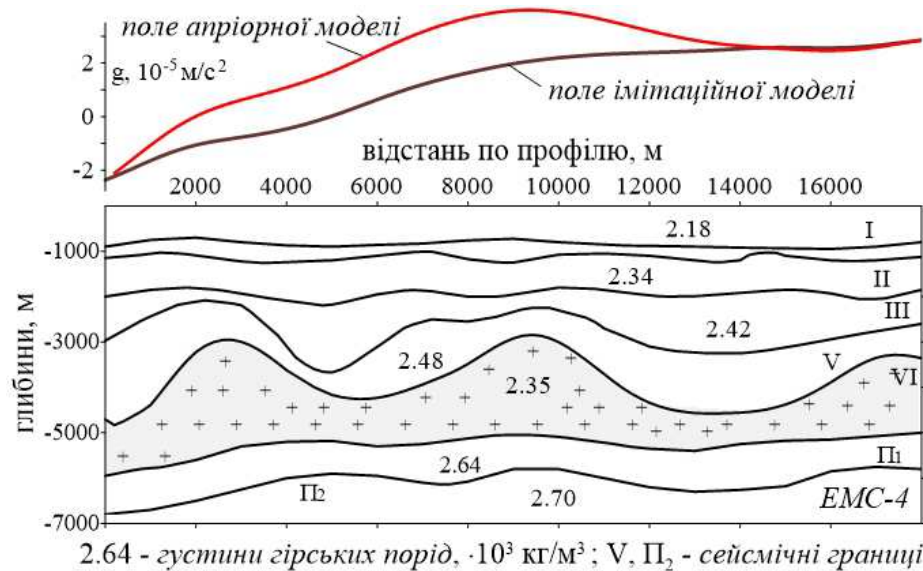


Рисунок 8 – Еквівалентна модель структурного розрізу

Таблиця 4 – Точність побудов сейсмогеологічних границь

II - $\pm 1 \text{ м}$	V - $\pm 1 \text{ м}$	Π_1 - $\pm 1 \text{ м}$
III - $\pm 1 \text{ м}$	VI - $\pm 1200 \text{ м}$	Π_2 - $\pm 1 \text{ м}$

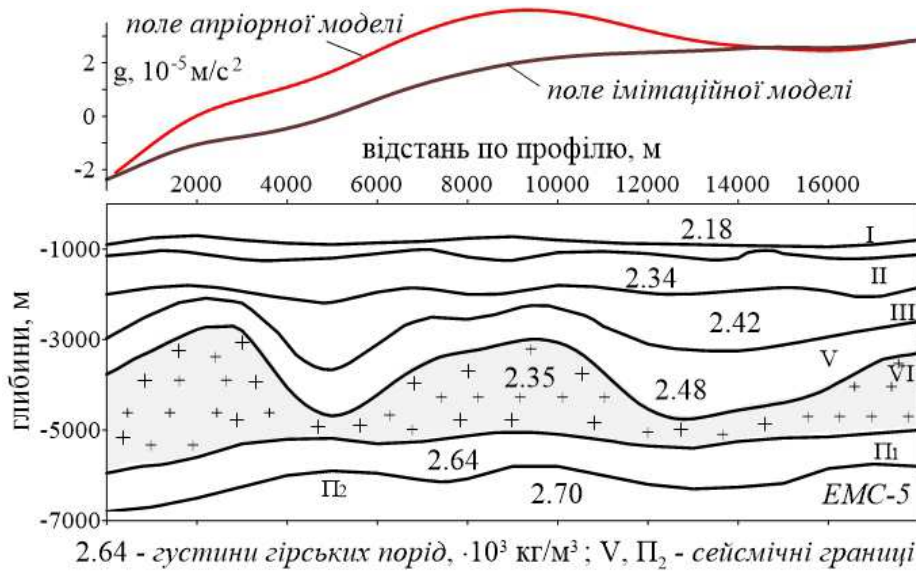


Рисунок 9 – Еквівалентна модель структурного розрізу

Про високу формальну точність рішення ОЗГ (початкова нев'язка $1.24 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}^2$) свідчить мала нев'язка між імітаційним полем та полем EMC-4 ($< 0.01 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}^2$), однак порівняння геометрії соляних куполів ІМС та EMC-4 не на користь останньої, і це не зважаючи на те, що фактично рішалася задача пошуку геометрії однієї границі. Однією з причин, які зумовлюють негативні властивості EMC-4, є спотворення у полі, які зумовлено способом вилучення фону.

Моделювання-5 пов'язано зі спробою дослідити вплив можливої перебудови бокових зон та регіонального фону, а також пошуком шляхів підвищення достовірності побудов EMC.

З передбачень, що EMC більш достовірніша ніж АМС, випливає, що виділення фону за принципом довіри до EMC буде й більш достовірним. У цьому випадку повинні перебудуватись фон та бокові зони, оскільки крайові зони EMC відносно АМС зазнають змін. Отже, після отримання EMC, потім заміщення EMC → АМС та перебудови бокових зон і розділення полів, можна продовжити інтерактивний процес рішення ОЗГ для отримання нової (більш достовірної за визначенням) EMC. Критерієм припинення пошуку рішення за прописаними складними ітеративними циклами є задовільна нев'язка між полями кінцевої EMC та ІМС. У результаті такого рішення ОЗГ, яке виконано за початковими умовами попереднього моделювання, побудовано EMC-5 (рис. 9). EMC-5 суттєво близька до ІМС у межах всього розрізу.

На перших кроках інтерактивного циклу заміщення EMC → АМС проводилось після

досягання $1/4 \div 1/5$ нев'язки полів відносно початкової у даному циклі, яка порівняно з кінцевою нев'язкою за попереднім циклом, як правило, зростала на $10 \div 20\%$. У кінці загального рішення задачі (після 5 циклу; кожний цикл з $5 \div 10$ ітерацій) відносна величина початкової нев'язки у певного циклу зростала більш суттєво. Але припинення циклу при досягненні $1/2$ нев'язки від початкової призводило до зменшення початкової нев'язки у наступному циклі порівняно з кінцевою нев'язкою попереднього циклу. Дана закономірність зберігалась при рішенні ОЗГ у різних режимах. EMC, які побудовано на останніх циклах, між собою практично не відрізнялись (рівень кінцевих нев'язок $\leq 0.01 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}^2$). Отже, за способом інтерактивних циклів створено стійкий до перебудов фону та бокових зон спосіб пошуку EMC, яка і є більш достовірною.

Висновки

Результати імітаційного моделювання підтверджують, що EMC є якісно-ймовірними густинними моделями, відображають загальний, принциповий характер будови геологічного середовища. Досягнення малої кінцевої нев'язки полів та швидка збіжність ітеративного процесу рішення ОЗГ не є критичними; для оцінювання ступені близькості EMC до реальних середовищ вони мають дотичне відношення.

Визначено, що кращим наближенням регіонального фону є нахилена площина, яка апроксимує спостережене поле сили тяжіння за характерними пікетами над ділянками АМС, до яких є найбільша довіра. У спробах уточнити будову сейсмогеологічних розрізів виявлено,

що підвищення достовірності результатів моделювання можна досягти за рахунок перебування ближніх бокових зон у моделях структурного типу в інтерактивному процесі рішення структурної оберненої задачі гравірозвідки.

Імітаційним моделюванням продемонстровано геологічну ефективність методики неформальної послідовності еквівалентних рішень. Методика полягає у формуванні гіпотез, формалізації їх у вигляді АМС, побудові та порівняльному аналізі ЕМС, метою якого є формування найбільш достовірної гіпотези та відповідної до неї оптимальної моделі розрізу (ОМС).

Достовірність рішення ОЗГ залежить від повноти апріорної інформації, методики та комп'ютерних технологій, але, також, і від ступені розуміння інтерпретатором властивості широкої еквівалентності рішень ОЗГ у загальній постановці. Грунтовність узагальнення серії ЕМС у вигляді оптимальної моделі залежить від досвіду інтерпретатора, оскільки комп'ютерні технології рішення прямих та обернених задач гравірозвідки є лише інструментом інтерпретації.

Література

1. Страхов В. Н. Современное состояние и перспективы развития теории интерпретации гравитационных и магнитных аномалий. *Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей : труды международной конференции*. Воронеж, 1998. С. 4-35.
2. Страхов В. Н. О подготовке специалистов в области гравиразведки и магниторазведки в высших учебных заведениях России. М. : ОИФЗ РАН, 2000. 60 с.
3. Кобрунов А. И. Принципы интегрированной интерпретации гравиметрических данных. *Геофизический журнал*. 2003. № 6. Т. 25. С. 95–105.
4. Петровський О. П., Кобрунов О. І., Ганженко Н. С. та ін. Проблема перспектив нафтогазоносності в Карпатському регіоні з позицій інтегральної інтерпретації комплексу геолого-геофізичних даних. *Науковий вісник ІФНТУНГ*. 2003. № 1(5). С. 8-15.
5. Петровский А. П., Кобрунов А. И., Ганженко Н. С. и др. Проблема регионального прогноза перспектив нефтегазоносности на основе интегральной интерпретации гравиметрических и геолого-геофизических данных. *Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей : Материалы международного семинара* им. Д.Г. Успенского. М. : ОИФЗ РАН, 2004. С. 56-57.
6. Анিকেєв С. Г. Методика інтерпретації гравиметричних матеріалів при произвольном строении геологических сред: дисс. ... канд. геол. наук: 04.00.22 / ИФГТУНГ. Киев, 2000. 242 с.
7. Кобрунов А. И. Теоретические основы критериального подхода к анализу геофизических данных (на примере задач гравиметрии). Ивано-Франковск : ИФИНГ, 1985. 269 с. – Деп. в УкрНИИТИ 18.02.86 Т 1280-УК86.
8. Анікеєв С. Г. Комп'ютерна система рішення прямих та обернених задач гравірозвідки для 2D/3D моделей складнопобудованих середовищ. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Розвідувальна і промислова геологія*. Івано-Франківськ, 1997. Вип. 34. С. 57-63.
9. Анікеєв С. Г. Про фізичну детермінованість квазірозв'язків лінійних обернених задач гравімагнітометрії. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. Львів : Вища школа, 1993. Вип. 30. С.9-17.
10. Анікеєв С. Г. Про імітаційне моделювання в гравірозвідці. *Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики : зб. наукових праць*. Київ, 2007. С. 292-298.
11. Страхов В. Н. Аналитическое продолжение и решение обратной задачи гравиметрии. *Изв. АН СССР. Физика Земли*. 1989. № 3. С. 34-50.
12. Цирульский А. В., Пруткин И. Л. О решении обратной задачи гравиметрии для произвольных классов двухмерных и трехмерных потенциалов. *Изв. АН СССР Физика Земли*. 1981. Т. 11. С. 45-61.
13. Березкин В. М. Применение гравиразведки для поисков месторождений нефти и газа. М. : Недра, 1973. 307 с.
14. Кобрунов А. И., Варфоломеев В.А. Об одном методе ϵ -эквивалентных перераспределений и его практическом использовании при интерпретации гравитационных полей. *Изв. АН СССР. Физика Земли*. 1981. Т. 10. С. 25-44.
15. Страхов В. Н. Основные направления развития теории и методологии интерпретации геофизических данных на рубеже XXI столетия. *Геофизика*. 1995. № 3. С. 9-18.
16. Страхов В. Н. Что делать? О развитии гравиметрии и магнитометрии в России в начале XXI века. *Геофизика*. 1999. № 3. С. 3-10.
17. Мешбей В. И. Способы наблюдений, обработки и интерпретации данных сейсморазведки сложнопостроенных сред. *Сотрудничество стран – членов СЭВ в области автомати-*

зорованної обробки геофізической информации. М. : Изд. ОУД Секретариата СЭВ, 1986. С. 117-137.

18. Маловичко А. К., Костицын В. И. Гравиразведка : учеб. для вузов. М. : Недра, 1992. 357 с.

References

1. Strakhov V. N. Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya teorii interpretatsii gravitatsionnykh i magnitnykh anomalii. *Voprosy teorii i praktiki geologicheskoy interpretatsii gravitatsionnykh, magnitnykh i elektricheskikh poley : Trudy mezhdunarodnoy konferentsii. Voronezh*, 1998. pp. 4-35.

2. Strahov V. N. O podgotovke specialistov v oblasti gravirazvedki i magnitorazvedki v vysshikh uchebnykh zavedeniyah Rossii. М. : IPhE RAS, 2000, 60 p.

3. Kobrunov A. I. Principy integrirovannoy interpretatsii gravimetricheskikh dannykh. *Geofizicheskii zhurnal*. 2003. No. 6. T. 25. pp. 95-105.

4. Petrovskiy O. P., Kobrunov O. I., Ganzhenko N. S. and etc. Problema perspektiv naftogazonosnosti v Karpatskomu regionu z pozitsiy integralnoy interpretatsii kompleksu geologo-geofizichnykh dannykh. *Naukovyy visnyk IFNTUNG*. 2003. No 1(5). pp. 8-15.

5. Petrovskiy A. P., Kobrunov A. I., Ganzhenko N. S. and etc. Problema regionalnogo prognoza perspektiv neftegazonosnosti na osnove integralnoy interpretatsii gravimetricheskikh i geologo-geofizicheskikh dannykh. *Voprosy teorii i praktiki geologicheskoy interpretatsii gravitatsionnykh, magnitnykh i elektricheskikh poley : trudy mezhdunarodnoy konferentsii im. D.G. Uspenskogo*. М. : IPhE RAS, 2004. pp. 56-57.

6. Anikeyev S. G. Metodyka interpretatsiyi hravimetrychnykh materialiv pry dovil'niy budovi heolohichnykh seredovyshch : diss. ... kand. geol. nauk : 04.00.22 / IFNTUNG. Kyiv, 1999, 242 p.

7. Kobrunov A. I. Teoreticheskie osnovy kriterial'nogo podhoda k analizu geofizicheskikh dannykh (na primere zadach gravimetrii). Ivano-Frankivsk : IFING, 1985. 269 p. – Dep. Ukr. SRI STI 18.02.86 T 1280-UK86.

8. Anikeyev S. G. Kompyuterna sistema rishennya pryamykh ta obernenykh zadach hravirazvidky dlya 2D/3D modeley skladno pobudovanykh seredovyshch. *Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovyshch*. 1997. Vyp. 34, pp. 57-63.

9. Anikeyev S. G. Pro fizychnu determinovanist kvazirozvyazkiv liniynykh obernenykh zadach

gravimagnitometriyi. *Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovyshch*. 1993. Vyp. 30, pp. 9-17.

10. Anikeyev S. G. Pro imitacijne modelyvannya v gravirazvidci. *Teoretychni ta prykladni aspekty heoinformatyky : zb. nauk. prats. Kyiv*, 2007. pp. 292-298.

11. Strahov V. N. Analiticheskoe prodolzhenie i reshenie obratnoj zadachi gravimetrii. *Izv. AN SSSR. Fizika Zemli*. 1989. T. 3. pp. 34-50.

12. Cirulckij A. V., Prutkin I. L. O reshenii obratnoj zadachi gravimetrii dlja proizvolnykh klassov dvuhmernykh i trehmernykh potencialov. *Izv. AN SSSR. Fizika Zemli*. 1981. T. 11. pp. 45-61.

13. Berezkin V. M. Primenenie gravirazvedki dlja poiskov mestorozhdenij nefiti i gaza. М. : Nedra, 1973. 307 p.

14. Kobrunov A. I., Varfolomeev V.A. Ob odnom metode ϵ -jektivvalentnykh pereraspredelenij i ego prakticheskom ispol'zovanii pri interpretatsii gravitacionnykh polej. *Izv. AN SSSR. Fizika Zemli*. 1981. T. 10. pp. 25-44.

15. Strahov V. N. Osnovnye napravleniya razvitiya teorii i metodologii interpretatsii geofizicheskikh dannykh na rubezhe XXI stoletija. *Geofizika*. 1995. T. 3. pp. 9-18.

16. Strahov V. N. Chto delat'? O razvitii gravimetrii i magnitometrii v Rossii v nachale XXI veka. *Geofizika*. 1999. No 3. pp. 3-10.

17. Meshbej V. I. Sposoby nabljudenij, obrabotki i interpretatsii dannykh sejsmorazvedki slozhnopostroennykh sred. *Sotrudnichestvo stran - chlenov CJeV v oblasti avtomatizirovannoy obrabotki geofizicheskoy informatsii*. М. : Изд. ОУД Секретариата CJeV, 1986. pp. 117-137.

18. Маловичко А. К., Костыцин В. И. Гравиразведка : учеб. длja вузов. М. : Недра, 1992. 357 p.