

успішність навчання мережі за скінчену кількість кроків. Тут велику роль відіграє досвід дослідника.

Якщо зуміти провести навчання автоасоціативної мережі на достатньо репрезентативній вибірці двовимірних даних (яка описує усю множину можливих значень даних), то, вочевидь, можна побудувати універсальний кодер-декодер із гарним коефіцієнтом стиснення, рекурсивно подаючи виходи стиснутого шару нейромережі знову їй на вхід. На жаль, практична реалізація цієї оригінальної авторської ідеї поки ще не здійснена.

1. Р.Дуда, П.Харт. Распознавание образов и анализ сцен. Москва: Мир, 1976. – 512 с. 2. Б.Дюржан, П.Оделл. Кластерный анализ. – Москва: Статистика, 1977. – 128 с. 3. Никитин А.А. Теоретические основы обработки геофизической информации. – Москва: Недра, 1986. – 343 с. 4. Вычислительная математика и техника в разведочной геофизике / Справочник геофизика под ред. В.И.Дмитриева. – Москва: Недра, 1990. – 499 с. 5. М.Н.Жуков. Статистический анализ геологических данных (довідкові відомості, задачі, приклади розв'язання): Навч. посібник. – Київ: ІСДО, 1995. – 552 с. 6. Терехов С.А. Лекции по теории и приложениям искусственных нейронных сетей. http://alife.narod.ru/lectures/neural/Neu_index.htm 7. Заенцев И.В. Нейронные сети: основные модели. – Воронеж: ВГУ, 1999. <http://www.scintific.narod.ru/NNBooks/nncourse.zip> 8. А.А.Ежов, С.А.Шумский. Нейрокомпьютеринг и его применения в экономике и бизнесе. Серия "Учебники экономико-аналитического института МИФИ" под ред. проф. В.В. Харитонова. Москва: МИФИ, 1998, – 224 с. <http://neurolec.chat.ru/>

УДК 550.831

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕКТОНІЧНИХ ЗОН ОБЕРНЕНИМИ ЛІНІЙНО-НЕЛІНІЙНИМИ МЕТОДАМИ ГРАВІМЕТРІЇ ДЛЯ ВИБОРУ МІСЦЬ БУДІВНИЦТВА ЕКОЛОГІЧНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Розроблено ряд методів розв'язку обернених задач гравіметрії, комплексовання яких є необхідною умовою для ефективного вивчення тектонічних зон в масивах гірських порід кристалічного фундаменту.

Methods of the decision of return problems gravity which complex use is a necessary condition for effective studying tectonic zones in files of rocks of the crystal base are developed.

Стан проблеми. Будівництво електростанцій, аеродромів, дамб, відстійників потребує детального вивчення характеру монолітності масивів гірських порід у кристалічному фундаменті, якщо потужність наносів невелика. У таких випадках розташування екологічно небезпечних об'єктів над широкими тектонічними зонами фундаменту являє загрозу як для навколишнього середовища, так і для самого об'єкта. Якщо тектонічні зони не заповнені дайками магнітних порід, їхнє вивчення практично можливе тільки дорогими свердловинами і тільки в приповерхній частині – методами електророзвідки.

Однак у даний час уже відомі ефективні і стійкі методи розв'язку обернених лінійних (а також і нелінійних) задач гравіметрії (ОЛЗГ, ОНЗГ), що дають надійні фізично і геологічно змістовні представлення про структуру геологічних об'єктів взагалі і тектонічних зон зокрема [1,2].

Метою цієї роботи є розробка оптимізуємих методів розв'язку ОЛЗГ і ОНЗГ для більш точного вилучення впливу великих масивів гірських порід зі спостереженого поля і забезпечення упевненого трасування тектонічних зон по залишкам поля сили тяжіння.

Поставлена мета досягається тим, що застосовується методика інтерпретації карти гравітаційного поля з почерговим використанням розв'язків оберненої задачі декількома методами [3].

Методи досліджень. Спочатку ОЛЗГ розв'язана методом ітерацій для одношарової моделі з апроксимацією нижнього півпростору на 20х20 прямокутних паралелепіпедів (блоків) невеликої висоти і на 4 обмежених горизонтальних уступи великої потужності, довжини і ширини з лінійно змінною з глибиною та невідомою аномальною щільністю x_i , що також підлягає визначенню одночасно з аномальною щільністю всіх паралелепіпедів. Проекції 400 паралелепіпедів цілком покривають площу карти гравітаційного поля g_j таким чином, що над кожним з них є хоча б один пункт з вимірюваним в ньому полем сили тяжіння, і під кожним таким пунктом є хоча б один паралелепіпед. Це умова коректності оберненої лінійної задачі гравіметрії. Чим більше пунктів поля перебуває за межами проєкцій блоків на площину карти поля, і чим більше блоків розташовано так, що їх проєкції не попадають на карту гравітаційного поля, тим більше некоректною є модель ОЛЗГ і тим більше не-

стійким і фізично незмістовним буде її розв'язок. Система уступів використовується для автоматичного визначення і вилучення практично всього регіонального фону. Кількість уступів може бути будь-якою, але над кожним з них повинні бути пункти поля сили тяжіння. Застосовуються, в основному, безумовні алгоритми з кількістю ітераційних параметрів τ_i , рівною кількості блоків і невідомих компонентів $x_{k,i}$ змінної щільності x_i уступів у моделі задачі. Метод і алгоритм розв'язку ОЛЗГ для цієї частини задачі має вигляд.

П.О. Міненко, канд. геол.-мінералог. наук
Р.В. Міненко, студ.

Система уступів використовується для автоматичного визначення і вилучення практично всього регіонального фону. Кількість уступів може бути будь-якою, але над кожним з них повинні бути пункти поля сили тяжіння. Застосовуються, в основному, безумовні алгоритми з кількістю ітераційних параметрів τ_i , рівною кількості блоків і невідомих компонентів $x_{k,i}$ змінної щільності x_i уступів у моделі задачі. Метод і алгоритм розв'язку ОЛЗГ для цієї частини задачі має вигляд.

$$x_{i,n+1} = x_{i,n} - \tau_{n+1} * B_{i,n}; \quad x_{i,n+1} = x_{i,n} - \tau_{i,n+1} * B_{i,n};$$

$$\lambda_i = \sum_j a_{ij}; \quad \lambda_j = \sum_i a_{ij}; \quad (1)$$

$$r_{j,n} = (a_{ij}, x_{i,n}) - g_j; \quad r_{j,n+1} = r_{j,n} - (a_{i,j}, B_{i,n} * \tau_{i,n+1});$$

$$B_{i,n} = (a_{i,j} / \lambda_i / \lambda_j, r_{j,n});$$

$$F_4 = \sum_i (B_{i,n+1})^2 \xrightarrow{\tau_i \neq const} \min;$$

Ітераційні параметри знаходять шляхом розв'язку системи 408 рівнянь на кожному кроці ітерацій. В більшості випадків для розв'язку ОЛЗГ методом (1) досить 3 ітерацій за 3 хвилини.

Далі залишкове поле інтерпретується шляхом розв'язку ОЛЗГ для моделі з аномальною щільністю, що змінюється з глибиною z_i усередині кожного паралелепіпеда за законом полінома четвертого ступеня. Можлива також добавка до полінома лінійних членів для горизонтальних напрямків. Таким чином, для кожного паралелепіпеда маємо від 5 до 7 компонентів параметра змінної щільності. При тих же 400 блоках і 4 уступах маємо 2808 невідомих для карти поля сили тяжіння g_j , вимірюваного в 65х53=3445 пунктах.

Застосовуються, в основному, безумовні алгоритми з одним ітераційним параметром τ_c для всіх невідомих компонентів $x_{k,i}$ перемінної щільності x_i блоків і уступів.

$$x_{i,n+1} = x_{i,n} - \tau_{n+1} * B_{i,n}; \quad \lambda_i = \sum_{j,k} a_{k,i,j}; \quad \lambda_j = \sum_i a_{k,i,j};$$

$$x_{i,n} = \sum_{k=0}^{k=m} x_{k,i,n} z_i^k; \quad (2)$$

$$\begin{aligned}
 r_{j,n} &= (a_{k,i,j}, x_{k,i}) - g_j; \quad r_{j,n+1} = r_{j,n} - \tau_{n+1} \times (a_{k,i,j}, B_{i,n}); \\
 B_{i,n} &= (a_{k,i,j} / \lambda_i / \lambda_j, r_{j,n}); \\
 F_3 &= \sum_i (B_{i,n+1})^2 \xrightarrow{\tau = \text{const}(i)} \min; \\
 \tau_{n+1} &= (B_n, C_n) / (C_n, C_n); \quad C_n = B^{-1} A B_n; \\
 F_5 &= \sum_j (r_j^2) \xrightarrow{\tau} \min \quad (3)
 \end{aligned}$$

Мінімізуються норми F_3 й F_4 ітераційних добавок $B_{i,n}$ до кожного компонента $x_{k,i}$ щільності x_i , тому що при використанні цієї норми фільтруються інтенсивні похибки поля δg_j , а при нормі F_5 , що описується формулою (3), вони не фільтруються і перерозподіляються на інші блоки. Використовуються також ітераційні процеси з квадратичними членами добавок:

$$\begin{aligned}
 x_{i,n+1} &= x_{i,n} - \tau_{n+1} * B_{i,n} - \mu_{n+1} * B_{i,n}^2; \quad (4) \\
 \tau_{n+1} &= (A_{d1} u_3 - A_{d2} u_2) / T_c; \quad \mu_{n+1} = (A_{d2} u_1 - A_{d1} u_2) / T_c; \\
 T_c &= u_1 u_3 - u_2^2; \quad u_1 = (T_{1i}, T_{1i}); \quad u_1 = (T_{1i}, T_{2i}); \\
 u_3 &= (T_{2i}, T_{2i}); \quad A_{d1} = (B_{n,i}, T_{1i}); \quad A_{d2} = (B_{n,i}, T_{2i}); \\
 Z_j &= (a_{i,j}, B_{n,i}); \quad Z_{1j} = (a_{i,j}, B_{n,i}); \\
 T_{1i} &= (a_{i,j} / \lambda_i / \lambda_j, Z_j); \quad T_{2j} = (a_{i,j} / \lambda_i / \lambda_j, Z_{1j}); \\
 r_{n+1,j} &= r_{n,j} - \tau_{n+1} (a_{i,j}, B_{n,i}) - \mu_{n+1} (a_{i,j}, B_{n,i}^2);
 \end{aligned}$$

Останній метод також ефективний при розв'язку ОЛЗГ для блоків з постійною щільністю, розташованих у декількох горизонтальних шарах. У цьому випадку за рішенням ОЛЗГ методом (2) із змінною щільністю виділяють відособлені блоки і включають їх у модель оберненої задачі. При цьому, верхній шар заповнюють паралелепіпедами цілком по площі карти поля g_j , а в інших шарах блоки можуть і не ступатися. Цілком заповнена блоками тришарова модель має $3 \times 20 \times 20 + 8 = 1208$ невідомих параметрів щільності. Для вищезгаданої карти поля розв'язок ОЛЗГ

методом (4) виконується за 15 хвилин, а методом (2) із змінною щільністю – за 45 хвилин.

Ітераційний метод з умовною оптимізацією на основі скалярного добутку похибки на сигнал [4] реалізується наступними формулами:

$$\begin{aligned}
 RdR &= \sum_j r_{j,n} * (a_{jk}, x_{k,n}); \quad x_{i,n+1} = x_{i,n} - \tau B_{i,n}; \quad (5) \\
 F_7 &= (RdR)^2 + \xi * RdR \xrightarrow{\tau} \min;
 \end{aligned}$$

$$\tau = ((r_{j,n} + g(j) / 2) / \lambda_j^2, (a_{i,j}, B_{i,n})) / (a_{i,j} / \lambda_j^2, B_{i,n})^2;$$

Досліджені також двокрокові ітераційні методи, наприклад, метод спряжених градієнтів [5] при нормі F_3 і наступних формулах:

$$\begin{aligned}
 x_i &\leftrightarrow \sigma_{i,m} (i \leftrightarrow (i, m)); \\
 \sigma_{n+1,i} &= \alpha_{n+1} (\sigma_{n,i} - \sigma_{n-1,i} - \tau_{n+1} B_{n,i}) + \sigma_{n-1,i}; \quad (6) \\
 \tau(B_{n+1}^2) &= ((C, B_{n-1})(B_{n-1}, dB) - (C, B_n)(B_{n-1}, dB)) / \\
 &\quad ((C, B_{n-1})(C, dB) - (C, C)(B_{n-1}, dB)),
 \end{aligned}$$

де: $C = C_n$, $dB = B_n - B_{n-1}$; $\tau_1 = (B_0, C_0) / (C_0, C_0)$; $\alpha_1 = 1$;

$\sigma_{1i} = \sigma_{n,i} - \tau_1 B_{0,i}$; $\{\sigma_{0,i}; i = 1, M\}$ - вектор початкових значень аномальної щільності гірських порід.

Через те, що ітераційні методи при інтенсивних похибках поля можуть швидко виходити на завершення ітераційного процесу (немає збільшення щільності при наступних ітераціях), то необхідно використовувати кілька ітераційних методів. Уже встановлено [1,3], що в таких випадках доцільно використовувати по черзі по одній або по кілька ітерацій нелінійних методів [3], методів спряжених градієнтів [5] по нормі F_3 або методів умовної оптимізації на основі скалярного добутку похибки на сигнал [4], суми квадратів нев'язки [6-10] або методів лінійного програмування, що мають аналогію з регуляризуючими алгоритмами [11].

Результати досліджень. На рис. 1 представлена карта неосередненого поля сили тяжіння.

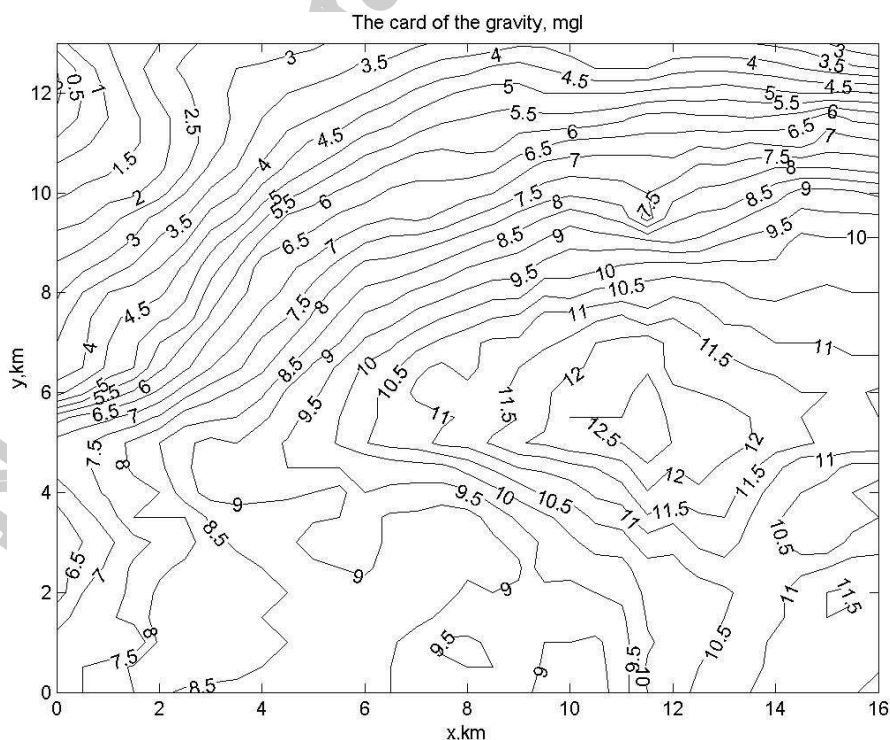


Рис.1. Карта неосередненого поля сили тяжіння (ізолінії приведені в мілігалах).

На рис. 2 представлена карта аномальної щільності, отримана розв'язком ОЛЗГ по осередненому полю для нелінійної щільності усередині кожного з 400 блоків

розмірами 800х650х1050 м. Глибина горизонтального зрізу для цієї карти 540 м. Використано алгоритм (4) для змінної щільності по нормі (3).

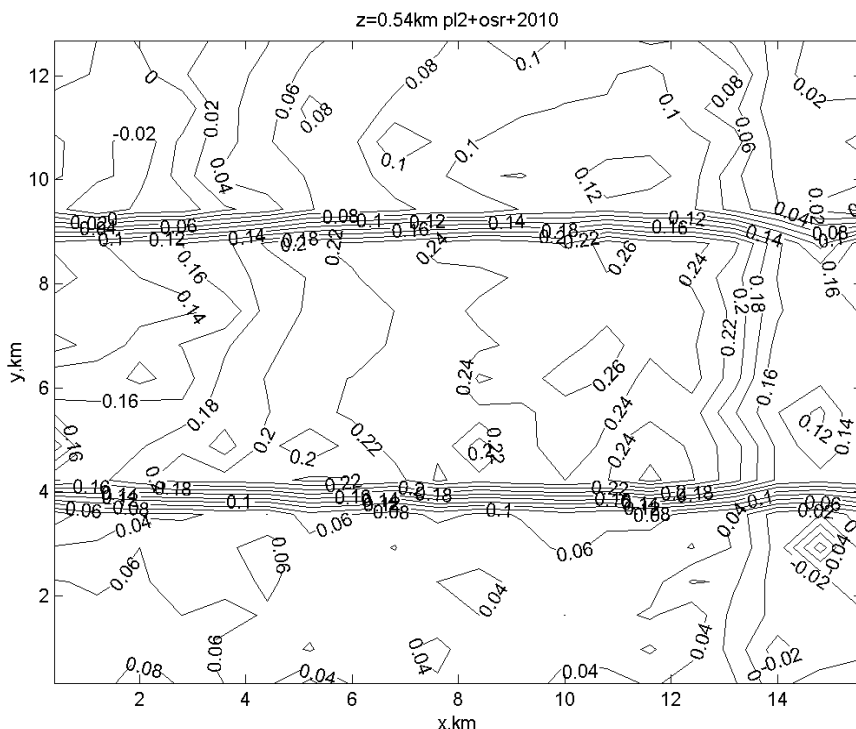


Рис. 2. Результати інтерпретації карти осередненого поля сили тяжіння.

Карта щільності гірських порід на горизонті 540 м (ізолії приведені в г/куб.см).

На рис. 3 представлена карта розподілу аномальної щільності в горизонтальному зрізі на глибині 600 м., отримана з розв'язку ОЛЗГ по неосередненому полю тим же алгоритмом для тієї ж системи блоків.

На рис. 4 представлений вертикальний розріз аномальної щільності, що відповідає карті рис. 3, що проходить із заходу на схід по лінії X=4400 м.

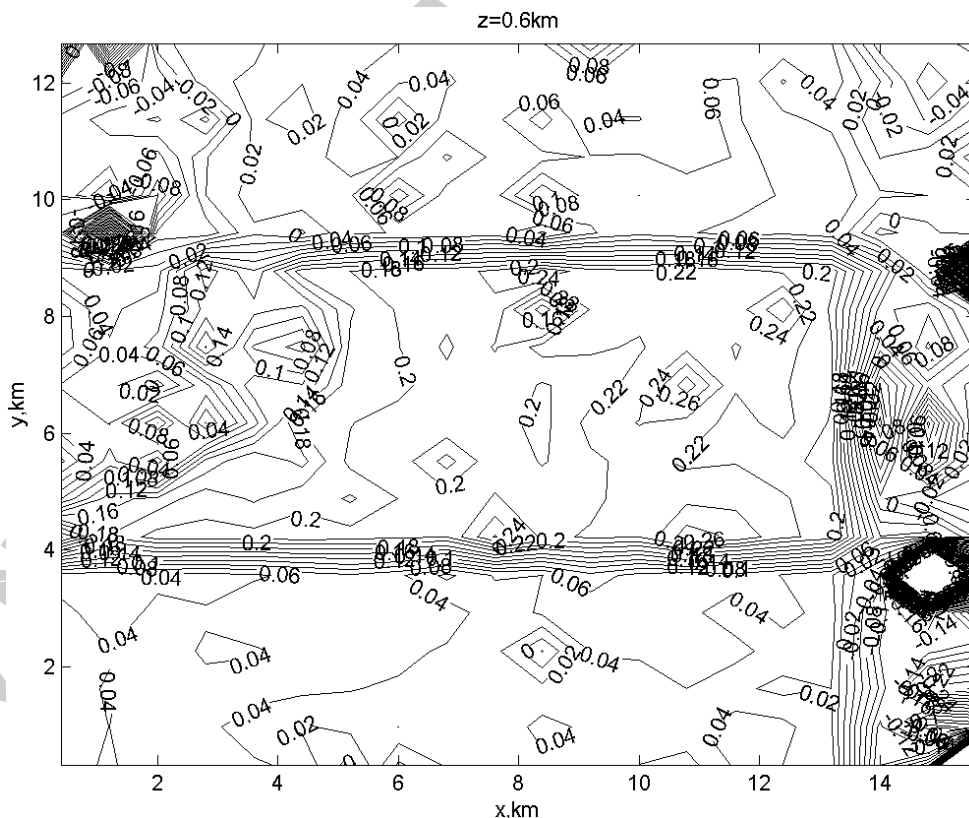
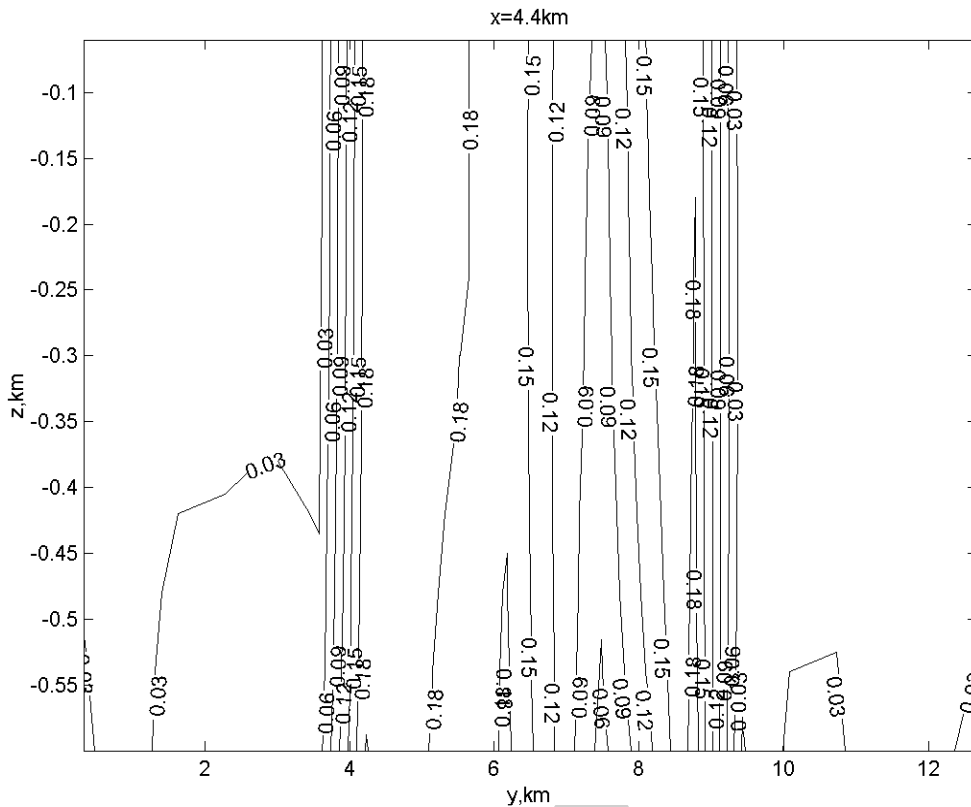


Рис. 3. Результати інтерпретації карти неосередненого поля сили тяжіння.

Карта щільності гірських порід на горизонті 600 м (ізолії приведені в г/куб.см).



Обговорення результатів досліджень. На рис. 2 отримана загальна структура щільності нижнього півпростору на ділянці зйомки. Тут виділений блок порід з високою щільністю (гнейсів) із прониклими в нього інтрузіями гранітів. З заходу ($Y=4000$ м.) і зі сходу ($Y=9000$ м.) цей блок обмежений меридіональними зонами високих градієнтів щільності від блоків гранітів і мігматитів, що примикають до нього. Є також дві зони більш слабких градієнтів щільності широтного напрямку ($X=12500$ - 14000 м і $X=3000$ - 5000 м), що менш чітко визначають контакти двох типів порід. На рис. 3 права широка зона проявляється більш чітко, а ліва має вигляд системи діагональних пересічних зон. Вплив блоку з великою щільністю в самому південно-західному куті карти (рис. 1) вилучено системою уступів, що визначають регіональний фон поля сили тяжіння. З рис. 3-4 видно, що одна з дрібних інтрузій гранітів проникла в блок гнейсів. Мігматити, що утворилися, мають аномальну щільність на $0,1$ г/куб. см менше, ніж гнейси. Зони високих градієнтів щільності складаються з вишикуваних в одну лінію блоків із щільністю, що відрізняється одна від іншої. При визначенні вертикальної потужності блоків нелінійними методами (рис. 5) у розв'язку ОЛЗГ визначається більш точно аномальна щільність кожного блоку, а тому різка зміна щільності від одного до сусіднього блоку вздовж однієї лінії ідентифікується як широка тектонічна зона.

Висновки. Отримані по залишковому гравітаційному полю результати інтерпретації дозволяють вивчити детально структуру зон високих градієнтів щільності та ідентифікувати їх як широкі меридіона-

льні зони розламі. Діагональні зони розламі мають аналогічну структуру.

Приведені результати застосування гравіметрії доводять, що можна планувати проведення детальних гравіметричних зйомок з метою вивчення зон розламі та розробки методів забезпечення безпеки споруджуваних промислових і житлових об'єктів.

1. Миненко П.А., Миненко Р.В. Исследование структуры гранито-мигматито-гнейсовых комплексов украинского щита нелинейными методами гравиметрии. "Научный вестник Национального горного университета", №9, Днепропетровск, 2005, с.66-68.
2. Миненко П.А. Линейно-нелинейная обратная задача гравиметрии при поисках рудных месторождений в приповерхностной части Украинского кристаллического щита. "Сборник научных трудов Национального горного университета", №23, Днепропетровск, 2005, с.136-143.
3. Миненко П.А. Особенности решения обратной линейно-нелинейной задачи гравиметрии. "Геоинформатика", НАНУ, Центр менеджменту та маркетингу в галузі наук про Землю ІГН НАН України, №4, 2005, с.31-35.
4. Страхов В.Н. Новая технология интерпретации локальных гравитационных аномалий в двухмерной постановке. "Геоинформатика", №1, К., 2005, С. 27-31.
5. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы. М., "Наука", 1989, с.430.
6. В.Н. Страхов. О решении линейных обратных задач гравиметрии и магнитометрии. ДАН СССР, т.310, №6, 1991, с.1348-1352.
7. Булах Е.Г., Ржаницын В.А., Маркова М.Н. Применение метода минимизации для решения задач структурной геологии по данным гравиразведки. Изд-во "Наукова думка", К., 1976, 220с.
8. Старостенко В.И. Устойчивые численные методы в задачах гравиметрии. К., "Наукова думка", 1978, с.218.
9. Булах Е.Г., Маркова М.Н., Тимошенко В.И., Бойко П.Д. Математическое обеспечение автоматизированной системы интерпретации гравитационных аномалий. К., "Наукова думка", 1984, с.112.
10. Старостенко В.И., Козленко В.Г., Костюкевич А.С. Сейсмогравитационный метод: принципы, алгоритмы, результаты. // Вестник АН УРСР. 1986, №12, с.28-42.
11. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. М., "Наука", 1979, с.183.

УДК 550.83

В.М. Курганський, д-р геол.-мінералог. наук.
В.В. Рябуха, асп.

ВИЗНАЧЕННЯ ЛІТОТИПУ ТЕРИГЕННИХ ПОРІД НИЖНЬОГО КАРБОНУ ЗА ХАРАКТЕРОМ ЗВ'ЯЗКУ $P_p = f(K_p)$ НА ПРИКЛАДІ ЛОХВИЦЬКОЇ СТРУКТУРНО-ТЕКТОНІЧНОЇ ЗОНИ ДДЗ

Проведені детальні петрофізичні дослідження нижньокам'яновугільних порід-колекторів Лохвицької структурно-тектонічної зони (Дніпро-Донецька западина, Україна). Показано можливість визначення літотипу порід за характером зв'язку $P_p = f(K_p)$

The detailed complex petrophysical investigations of the Lower Carbon rocks of the Loxvitska structurally-tectonic zone (the Dnieper-Donets depression, Ukraine) have been made. The probability to determine lithotype of rocks on the basis of relation $P_p = f(K_p)$ is indicating

Вступ

Сучасні методи ГДС забезпечують можливість детального вивчення геологічних розрізів, розкритих свердловинами: розчленування їх на окремі пласти та пропластки, визначення (або уточнення) літології виділених об'єктів, визначення в них порід-колекторів, встановлення характеру їх насичення, отримання основних параметрів, необхідних для підрахунку запасів нафти і газу та обґрунтування їх граничних значень. Надійною основою для інтерпретації усіх методів ГДС є зв'язки, встановлені між параметрами, вимірними в свердловинах, і петрофізичними властивостями порід, вивченими в лабораторних умовах на керні. В складнобудованих поліфаціальних розрізах, класичним прикладом яких є продуктивний розріз нижнього карбону ДД³, петрофізичні моделі в межах навіть одних і тих же теригенних відкладів істотно відрізняються, і відповідно потребують уточнення.

В статті публікуються результати вивчення характеру впливу структури порового простору порід-

колекторів різних літотипів на їх електричні характеристики і пропонується спосіб визначення літотипу теригенних порід за характером зв'язку $P_p = f(K_p)$.

Об'єкт та суть дослідження. Об'єктом дослідження були обрані піщано-глинисті відклади нижнього карбону, які складають Лохвицьку структурно-тектонічну зону ДД³.

По цій зоні виконаний повний комплекс літолого-структурних, петрографічних, геохімічних і петрофізичних досліджень в атмосферних і пластових умовах, а також є дані ГДС, що дозволило розробляти петрофізичні моделі і будувати основні залежності типу "керна-керна" та "керна-геофізика"[1].

За результатами петрофізичних досліджень візейсько-турнейська продуктивна товща диференціюється на дві основні товщі – верхньовізейську та нижньовізейсько-турнейську.

Верхньовізейська товща представлена чергуванням піщано-глинистих порід з рідкими прошарками вапняків та вугілля. Пласти-колектори представлені