

УДК 504+543+550+551+552+553+556+624

Наведено результати геологічних, стратиграфічних, палеонтологічних, гідрогеологічних, геофізичних і геоінформаційних досліджень.

Для викладачів, наукових співробітників, аспірантів і студентів.

Visnyk deals with results of geological, stratigraphic, paleontological, hydrogeological, geophysical and geoinformational investigations carried out by lectures and scientific researches of geological faculty, Kyiv Taras Shevchenko University.

For scientists, professors, aspirants and students.

ВІДПОВІДАЛЬНИЙ РЕДАКТОР	С.А. Вижва, д-р геол. наук, проф.
РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ	І.В. Віршило, канд. геол. наук, доц. (заст. відп. ред.); О.М. Іванік, канд. геол. наук, доц. (відп. секр.); В.Ф. Грінченко, д-р геол. наук, проф.; М.Н. Жуков, д-р геол. наук, проф.; В.М. Загнітко, д-р геол.-мінерал. наук, проф.; О.М. Карпенко, д-р геол. наук, проф.; М.М. Коржнев, д-р геол.-мінерал. наук, проф.; І.М. Корчагін, д-р фіз.-мат. наук; О.Є. Кошляков, канд. геол.-мінерал. наук, доц.; В.М. Курганський, д-р геол.-мінерал. наук, проф.; О.І. Лукієнко, д-р геол.-мінерал. наук, проф.; Б.П. Маслов, д-р фіз.-мат. наук, проф.; О.Ю. Митропольський, д-р геол.-мінерал. наук, проф., чл.-кор. НАН України; В.А. Михайлов, д-р геол. наук, проф.; В.А. Нестеровський, д-р геол. наук, доц.; В.І. Павлишин, д-р геол.-мінерал. наук, проф.; Г.Т. Продайвода, д-р фіз.-мат. наук, проф.; М.І. Толстой, д-р геол.-мінерал. наук, проф.; Ю.К. Тяпкін, д-р фіз.-мат. наук, проф.; В.В. Шевчук, д-р геол.-мінерал. наук, проф.; С.Є. Шнюков, д-р геол. наук, доц.; В.М. Шуман, д-р фіз.-мат. наук, проф.; М.А. Якимчук, д-р фіз.-мат. наук, чл.-кор. НАН України
Адреса редколегії	03022, Київ-22, вул. Васильківська, 90, геологічний факультет ☎ (044) 521 33 38
Затверджено	Вченою радою геологічного факультету 24.02.10 (протокол № 8)
Атестовано	Вищою атестаційною комісією України. Постанова Президії ВАК України № 1-05/7 від 09.06.99
Зареєстровано	Міністерством юстиції України. Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 16181-4653Р від 25.12.09
Засновник та видавець	Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет". Свідоцтво внесено до Державного реєстру ДК № 1103 від 31.10.02
Адреса видавця	01601, Київ-601, 6-р Т.Шевченка, 14, кімн. 43 ☎ (044) 239 31 72, 239 32 22; факс 239 31 28

ЗМІСТ

ГЕОФІЗИКА

Єфіменко С., Рева М.

Вибір способу обліку ефекту матриці в рентгенорадіометричному методі аналізу руд кольорових металів 4

Безродна І., Безродний Д., Кузьменко Т.

Математичне моделювання впливу глинистості на пружні властивості складнопобудованих вапняків Волино-Поділля 8

Якимчик А., Чорна О.

Про побудову аналітичних апроксимацій елементів аномальних гравітаційних полів 12

Дубовенко Д.

Деякі проблеми обчислення трансформацій гравітаційного поля 15

Онищук В., Рева М., Онищук Д.

Екогеофізичні дослідження техногенного забруднення в районі складу мінеральних добрив 21

Вдовина Е.

О влиянии сплошной среды на гравитационное поле массы 24

Сівак В.

Експериментальне моделювання рухів геосфер 29

ГЕОІНФОРМАТИКА

Вижва З., Демидов В., Вижва А.

Статистичне моделювання випадкових полів на площині сплайновими апроксимаціями (на прикладі даних аеромагнітометрії) 31

Кошляков О., Кошлякова Т.

Геоінформаційна база даних хімічного складу питних підземних вод для території м. Києва 36

Асташкіна О.

Кадастр майданчиків під будівництво нових енергоблоків АЕС з використанням сучасних ГІС-технологій 38

Фріндт М.

Методика використання ГІС для оцінки факторів впливу на утворення зсувів автомобільної дороги Сімферополь-Ялта-Севастополь 41

ЗАГАЛЬНА ТА ІСТОРИЧНА ГЕОЛОГІЯ

Бублясь В.

Закономірності зміни напружено-деформаційного стану порід в мікрогеодинамічних зонах, розвинених в покривних відкладах рівнинних територій 44

Половка С.

Історія розвитку морської геології в Новоросійському університеті (1865 – 1920 рр.) 48

ЕКОНОМІЧНА ГЕОЛОГІЯ

Бодюк А.

Глобальні потреби економік країн у розвідці надрових ресурсів 51

КОЛЕКЦІЇ ГЕОЛОГІЧНОГО МУЗЕЮ

Нестеровський В., Фурдуй Р., Вакуленко О.

Колекції едіакарської (вендської) викопної фауни з Придністров'я в геологічному музеї Київського національного університету імені Тараса Шевченка як національне надбання України 56

CONTENTS

GEOFYSICS

Yefimenko S., Reva N. Choice of the method of matrix registration in the X-ray radiometry analyses of non-ferrous metals	4
Bezrodna I., Bezrodny D., Kuzmenko T. Mathematical modelling of shaliness influence on the elastic properties of Volyno-Podillya compound limestones	8
Yakimchik A., Chorna O. About construction of analytical approximations of elements of an gravity anomalous	12
Dubovenko Yu. Some problems of the gravity transformations calculation	15
Onyshchuk V., Reva N., Onyshchuk D. Ecogeophysics investigations of technogenic pollution in zone of mineral manure repository	21
Vdovina E. On the influence of continuous medium on the gravitational field of mass	24
Sivak V. Experimental modeling of geosphere motions	29

GEOINFORMATICS

Vyzhva Z., Demidov V., Vyzhva A. Statistical modelling of random fields on the plane using spline approximation (on example of airmagnetic data)	31
Koshliakov O., Koshliakova T. Geoinformation database of drinking underground water's chemical composition for Kyiv's territory	36
Astashkina O. Cadastre of grounds for building new power units of Nucleas Power Plants using modern GIS-technologies	38
Frindt M. GIS for an estimation of influence factors of the landslide formation on the route Simferopol-Yalta-Sevastopol	41

GENERAL AND HISTORICAL GEOLOGY

Bublyas V. Regularities of rock stress-deformation state variation in micro-geodynamic zones developed in cover deposits of plain areas	44
Polovka S. History of development of marine geology at Novorossiysk University (1865-1920 gg.)	48

ECONOMICAL GEOLOGY

Bodyuk A. Great of necessities of countries economics in the resources of bowel of the earth	51
--	----

COLLECTIONS OF GEOLOGICAL MUSEUM

Nesterowsky W., Furdyk R., Waculenko O. Collection of the ediacarian (vendian) fossilized fauna from the Dnisterside in the geological museum of the Kyiv National Taras Shevchenko University as a national property of Ukraine	56
--	----

ВИБІР СПОСОБУ ОБЛІКУ ЕФЕКТУ МАТРИЦІ В РЕНТГЕНРАДІОМЕТРИЧНОМУ МЕТОДІ АНАЛІЗУ РУД КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, доц. С.Є. Шнюковим)

Розглянуто спосіб спектральних відношень, що дозволяє врахувати вплив речовинного складу наповнювача на результати радіометричного аналізу руд багатоконпонентних родовищ кольорових металів.

The method of spectral relations that allows to take into account the influence of stuff's material composition on the results of radiometry analysis of ores of non-ferrous metals multicomponent deposits is proposed.

В рентгенорадіометричному методі аналізу (РРА) елементного складу поліметалічних руд однією з головних проблем є мінімізація впливу матричного ефекту. Термін "матричний ефект" об'єднує сукупність факторів, що негативно впливають на точність РРА. До таких факторів відносяться: вибіркове поглинання флуоресцентного випромінювання K – і L – краями елементів-завад; додаткове збудження ліній елементів, що визначаються, випромінюванням елементів-завад; додаткове збудження ліній елементів, що визначаються, розсіяним випромінюванням радіоактивного джерела; вплив елементів, які в процесі РРА не визначаються, на величину масового коефіцієнта послаблення; наявність в збуджуючому спектрі двох інтенсивних ліній; ефекти другого і третього порядків та багато інше. Такий об'ємний список складових матричного ефекту однозначно свідчить про те, що повністю вилучити його вплив на результати РРА руд поліметалічних родовищ неможливо. Мова може йти тільки про мінімізацію впливу.

Нині розроблено декілька способів, що дозволяють в тій чи іншій мірі або ж повністю усунути, чи значно зменшити вплив речовинного складу наповнювача на результати рентгенорадіометричного аналізу (РРА). Найбільш перспективним вважається метод стандарт-фону, заснований на використанні розсіяного досліджуваного об'єктом випромінювання в якості внутрішнього стандарту. Різні модифікації цього методу використовуються у всіх сучасних енергодисперсійних рентгенофлуоресцентних спектрометрах (EDXRF).

Вперше метод стандарт-фону для рентгеноспектрального аналізу був запропонований Адерманом і Кемпом в 1958 році. Цей метод, на відміну від інших, має дві суттєві переваги: 1 – не вимагає трудомісткої підготовки проб, оскільки виміри проводяться тільки в насичених шарах; 2 – досить простий з точки зору апаратурної реалізації. В рентгенорадіометрії отримали широке розповсюдження дві його модифікації – метод спектральних відношень і метод двох джерел. Для родовищ кольорових металів більш підходить перший з них.

Метод спектральних відношень вперше був запропонований В.А. Мейсром і В.С. Нахабцевим для аналізу важких елементів. Аналітичним параметром в цьому методі слугує відношення потоків рентгенівської флуоресценції елемента, що аналізується, і первинного випромінювання радіонукліда, розсіяного досліджуванним об'єктом [1]. Метод дає хороші результати при аналізі об'єктів, в яких відсутні елементи, K – чи L – краї поглинання яких знаходяться між енергіями аналітичної лінії елемента, що аналізується, і розсіяного випромінювання. Метод дозволяє знизити залежність результатів аналізу не тільки від зміни абсорбційних властивостей досліджуваного об'єкта, але й від зміни геометричних умов вимірів та активності радіонукліда.

Потік характеристичного випромінювання, що виникає при опроміненні плоскопаралельної проби з насиченим шаром моноенергетичним паралельним пучком рентгенівського γ – випромінювання з енергією вище K – краю поглинання елемента, що аналізується, описується виразом:

$$N = \frac{N}{4\pi R} S \eta \frac{S-1}{S} \rho \tau \frac{C}{\frac{\mu}{\sin \phi} + \frac{\mu}{\sin \psi}}. \quad (1)$$

Знаменник у співвідношенні (1) в загальному випадку залежить від концентрації елемента, що аналізується, а отже залежність щільності потоку N_i від концентрації елемента, що аналізується, нелінійна. Значення масових коефіцієнтів поглинання μ_i і μ_o також залежить від речовинного складу наповнювача. В зв'язку з цим, методика рентгенорадіометричного аналізу (РРА) в насичених шарах за вимірами тільки інтенсивності аналітичної лінії елемента, що визначається, забезпечує досить високу точність аналізу елементів лише в тому випадку, коли речовинний склад наповнювача змінюється незначно. На багатоконпонентних родовищах кольорових металів така умова дотримується, в кращому випадку, тільки в межах окремого рудного тіла, а не родовища в цілому, а тому вимагаються додаткові заходи щодо усунення впливу на результати аналізу ефекту матриці [2]. Окрім того, було показано, що спосіб спектральних відношень при РРА елементів середньої групи періодичної таблиці усуває вплив речовинного складу наповнювача тільки в області малих (при визначенні граничної концентрації C_1 значення масового коефіцієнта поглинання повинне відповідати найбільш легкій в даній задачі матриці: $\mu_{0M} = \mu_{0M(мин)}$) та досить великих концентрацій (гранична концентрація C_2 – найбільш важкій матриці: $\mu_{0M} = \mu_{0M(макс)}$). В проміжку $\Delta C = C_2 - C_1$ залежність результатів РРА від зміни речовинного складу наповнювача зберігається.

В проміжку $\Delta C = C_2 - C_1$ непогано зарекомендував себе метод РРА з врахуванням ефекту матриці при вимірах N_i / N_s^n . В роботі [3] показано, що коли в якості аналітичного параметра вибирати функцію виду N_i / N_s^n , де $n > 1$, то при деякому $n = n_{opt}$ $(N_i / N_s^{n_{opt}}) / \Delta \mu_{0M} \neq 0 = const$, отже відсутня залежність результатів РРА від зміни речовинного складу наповнювача в деякому діапазоні $\Delta \mu_{0M}$. Практична реалізація методу N_i / N_s^n була пов'язана з певними труднощами у випадках, коли n – дробове число. В зв'язку з цим був розроблений спосіб, який дозволяє

за допомогою номограм просто і достатньо оперативно реалізувати метод N_i / N_s^n при будь-якому значенні n (цілому чи дробовому).

Метод двох джерел заснований на вимірах потоків вторинного випромінювання проби, отриманих за допомогою моноенергетичних джерел, одне із яких (енергія E_0) збуджує характеристичне випромінювання визначуваного елемента, а друге (енергія E_1) – не збуджує. Причому енергія E_1 повинна бути якомога більш близькою до енергії характеристичного випромінювання досліджуваного елемента. Цей метод можна віднести до певної міри екзотичних. В масовому порядку його застосування неможливе.

Метод РРА за вимірами потоку вторинного випромінювання трьох енергій базується на наступному твердженні. Якщо вміст шуканого елемента визначається за сумою відношень потоку характеристичного випромінювання до потоку некогерентної складової розсіяного випромінювання з енергією вище K – краю поглинання N_i / N_{s1} і потоку характеристичного випромінювання до потоку некогерентної складової розсіяного випромінювання з енергією нижче K – краю поглинання N_i / N_{s2} , то ця сума практично не залежить від зміни речовинного складу наповнювача в широкому діапазоні концентрацій елемента, що аналізується. Цей метод працює краще методу спектральних відношень, однак труднощі, пов'язані з виділенням некогерентної складової розсіяного випромінювання енергії нижче K – краю поглинання, серйозно обмежують область практичного застосування методу, особливо при аналізі елементів середньої групи.

Метод РРА в умовно тонких шарах [4] дозволяє добитися серйозних успіхів в боротьбі з матричним ефектом. Однак трудомісткість підготовки проб позбавила цей метод практичної перспективи.

Багатообіцяючі результати були досягнуті за допомогою методу спектральних різниць. Ідеологія методу використовується в деяких сучасних EDXRF спектрометрах.

В переважній більшості сучасних EDXRF спектрометрів отримав широке розповсюдження спосіб фундаментальних параметрів [5]. Він добре зарекомендував

себе також і на рудах поліметалічних родовищ. Однак цей метод вимагає введення поправок на всі елементи-завади, а визначити вміст всіх елементів-завад в досліджуваному об'єкті практично неможливо. В зв'язку з цим найбільш близькі до істини, з нашої точки зору, автори високоефективного варіанту методу фундаментальних коефіцієнтів (назва умовна), при якому поправки вводяться тільки на прямо чи опосередковано (по кореляції, наприклад сірка по залізу) визначувані в процесі РРА елементи [6].

За останнє десятиріччя рентгенівська техніка інтенсивно розвивалася. Появилися і стали легкодоступними детектори рентгенівського випромінювання на основі кремнію: спочатку охолоджувані рідким азотом (ПГД), потім електроохолоджувані (PIN – детектори), і нарешті CDD – детектори [7,8]. Розроблені і випускаються серійно мініатюрні випромінювачі з малопотужними рентгенівськими трубками, що мають високий ККД. Швидкими темпами вдосконалюється електроніка: звичайними стали цифрові спектрометричні пристрої, потужні мікропроцесори. Не дивлячись на це, проблема матричного ефекту як існувала, так і продовжує існувати.

Теоретичні основи одного із підходів до вирішення проблеми матричного ефекту обговорюються в даній роботі. Спираючись на приведені нижче теоретичні викладки, приходимо до висновків, на основі яких можна будувати методичну оболонку сучасного EDXRF спектрометра.

Отже, використовуючи властивість адитивності масових коефіцієнтів поглинання, маємо:

$$\mu_i = \mu_{ia} C + \mu_{im} (1 - C); \quad (2)$$

$$\mu_o = \mu_{oa} C + \mu_{om} (1 - C), \quad (3)$$

де μ_{ia} і μ_{oa} – відносяться до елемента, що аналізується; μ_{im} і μ_{om} – до наповнювача об'єкта, що досліджується. Вираз (1), з урахуванням (2) і (3), набуває вигляду:

$$N_i = \frac{N_o}{4\pi R^2} S \eta \frac{S_k - 1}{S_k} p_k \tau_m \left(\frac{|\mu_{ia} C + \mu_{im} (1 - C)|}{\sin \varphi} + \frac{|\mu_{oa} C + \mu_{om} (1 - C)|}{\sin \psi} \right). \quad (4)$$

Масовий коефіцієнт поглинання для енергій до 100 – 120 кеВ пропорційний E^{-3} , тому

$$\frac{\mu_{oa}}{\mu_{ia}} \approx S_k \cdot \left(\frac{E_i}{E_o} \right)^3, \quad (5)$$

$$\frac{\mu_{om}}{\mu_{im}} \approx S_k \cdot \left(\frac{E_i}{E_o} \right)^3. \quad (6)$$

Підставивши (5) і (6) в (4), отримаємо:

$$N_i = \frac{N_o}{4\pi R^2} S \eta \frac{S_k - 1}{S_k} p_k \tau_m \cdot \frac{C}{\mu_{ia} C \left[\frac{E_o^3}{S_k E_i^3 \sin \varphi} + \frac{1}{\sin \psi} \right] + \mu_{om} (1 - C) \left[\frac{E_o^3}{E_i^3 \sin \varphi} + \frac{1}{\sin \psi} \right]}. \quad (7)$$

Вираз для щільності потоку розсіяного випромінювання можна записати у вигляді:

$$N_{S\Sigma} = \frac{N_o}{4\pi R^2} S \cdot \left[\frac{\sigma_H a}{\frac{\mu_s}{\sin \psi_1} + \frac{\mu_o}{\sin \psi}} + \frac{\sigma_K a_1}{\frac{\mu_s}{\sin \psi_2} + \frac{\mu_o}{\sin \psi}} \right], \quad (8)$$

де σ_H і σ_K – масові перерізи некогерентного і когерентного розсіяння відповідно; ψ_1 і ψ_2 – кути ковзання до поверхні аналізованого об'єкта некогерентного і когерентного розсіяного випромінювання відповідно; a і a_1 – коефіцієнти, що враховують анізотропію кутового розподілу некогерентного і когерентного розсіяння відповідно; μ_s – масовий коефіцієнт поглинання об'єктом, що досліджується, некогерентного розсіяного випромінювання.

В подальших міркуваннях будемо оперувати некогерентно розсіяним випромінюванням, масовий коефі-

цієнт розсіяння σ якого слабо залежить від ефективного атомного номера наповнювача. Це пояснюється тим, що при некогерентному розсіюванні фотон взаємодіє з окремими електронами, число яких в одиниці маси дорівнює $N_A \cdot Z / A$ (N_A число Авогадро; Z – порядковий

номер елемента; A – атомна маса) і практично є однаковим для різних елементів. З врахуванням (2) і (3) отримуємо наступне співвідношення для щільності потоку некогерентно розсіяного випромінювання N_s :

$$N_s = \frac{N_o}{4\pi R^2} S \sigma_n a \frac{1}{\frac{[\mu_{sa} C + \mu_{sm}(1-C)]}{\sin \psi_1} + \frac{[\mu_{oa} C + \mu_{om}(1-C)]}{\sin \psi}} \quad (9)$$

Для подальших розрахунків доречно зробити наступні припущення: $\varphi \approx \psi \approx \psi_1$ і $\mu_s \approx \mu_o$. Тоді вирази (7) і (9) набудуть вигляду:

$$N_i = A_i \frac{C}{\mu_{oa} \left[\frac{1}{S_k} \left(\frac{E_o}{E_i} \right)^3 + 1 \right] \cdot C + \mu_{om} \left[\left(\frac{E_o}{E_i} \right)^3 + 1 \right] \cdot (1-C)}; \quad (10)$$

$$N_s = A_s \frac{1}{\mu_{oa} C + \mu_{om}(1-C)}, \quad (11)$$

$$A_s = \frac{N_o}{8\pi R^2} S \sigma_n a \sin \varphi. \quad (13)$$

Скориставшись виразами (10) і (11), знайдемо відношення N_i/N_o :

де
$$A_i = \frac{N_o}{4\pi R^2} S \eta \frac{S_k - 1}{S_k} p_k \tau_m \sin \varphi; \quad (12)$$

$$\frac{N_i}{N_o} = M \cdot \frac{\mu_{oa} C + \mu_{om}(1-C)}{\mu_{oa} \left[\frac{1}{S_k} \left(\frac{E_o}{E_i} \right)^3 + 1 \right] \cdot C + \mu_{om} \left[\left(\frac{E_o}{E_i} \right)^3 + 1 \right] \cdot (1-C)}, \quad (14)$$

де
$$M = 2\eta \frac{S_k - 1}{S_k} p_k \tau_m / \sigma_n a.$$

Співвідношення (14) визначає залежність величини спектрального відношення від масового коефіцієнта поглинання μ_{om} проби при вибраній енергії випромінювання. Із цього виразу випливає важливий висновок: метод спектральних відношень при аналізі елементів середньої групи періодичної системи досить ефективно усуває вплив речовинного складу наповнювача (ефект матриці) тільки в області малих і великих концентрацій, коли можна знехтувати, відповідно, першим або другим доданком чисельника і знаменника.

Припустивши, що доданок, котрим знехтували, повинен бути на порядок меншим за інший, отримаємо, що область малих концентрацій ($\Delta C = 0 + C_1$) обмежена зверху значенням

$$C_1 \approx \frac{\mu_{om}}{\mu_{om} + 10\mu_{oa}}, \quad (15)$$

а область великих концентрацій ($\Delta C = 1 - C_2$) обмежена знизу значенням

$$C_2 = \frac{10\mu_{om} \left[\left(\frac{E_o}{E_i} \right)^3 + 1 \right]}{\mu_{oa} \left[\frac{1}{S_k} \left(\frac{E_o}{E_i} \right)^3 + 1 \right] + 10\mu_{om} \left[\left(\frac{E_o}{E_i} \right)^3 + 1 \right]}. \quad (16)$$

При визначенні граничної концентрації C_1 значення масового коефіцієнта поглинання повинне відповідати найбільш легкій матриці [$\mu_{om} = \mu_{om}(min)$], а при визначенні граничної концентрації C_2 – найбільш важкій матриці [$\mu_{om} = \mu_{om}(max)$]. Із виразу (14) виходить, що в області концентрацій $\Delta C = C_2 - C_1$ залежність РРА від

зміни речовинного складу наповнювача зберігається. В ряді випадків усунути повністю чи в значній мірі компенсувати цю залежність можна, застосувавши, наприклад, наступний прийом.

В припущенні однократної взаємодії γ -випромінювання із зразком, що досліджується, розміри якого необмежені, справедливе наступне співвідношення:

$$N_i = \frac{K_i C_a \tau_a}{\mu}, \quad (17)$$

де N_i – щільність потоку флуоресцентного випромінювання елемента в суміші, що складається із елемента A , що аналізується, основного елемента-завади M та наповнювача H ; K_i – коефіцієнт перетворення первинного випромінювання в рентгенівську флуоресценцію; C_a – масова доля визначуваного елемента; τ_a – масовий коефіцієнт фотоелектричного поглинання K -рівнем збуджуваного атома елемента; μ – масовий коефіцієнт послаблення γ -квантів у зразку.

У випадку реалізації рентгенодіаметричного методу без використання диференціальних фільтрів Росса реальний апаратний спектр формується таким чином, що реєстрований потік випромінювань можна представити у вигляді наступної суми:

$$N = N_i + BN_s + CN_m + DN_m + N_f + \frac{K'' \tau_s N_s C_a}{\bar{\mu}_i \bar{\mu}'_i}, \quad (18)$$

де N_f – постійна складова фону, значенням якої при певних величинах активності радіонукліда можна знехтувати; B і C – коефіцієнти, що зв'язані з роздільною здатністю R спектрометра та зі ступенем накладання фотопіків рентгенівських флуоресценцій атомів визначуваного елемента і елемента-завади, а також піка однократно розсіяного випромінювання радіонукліда; N_m і DN_m розраховуються, згідно виразів

$$N_m = \frac{K_i C_m \tau_m}{\bar{\mu}_i}; \quad (19)$$

$$DN_m = \frac{KK' C_m C_a \tau_m \tau_a}{\bar{\mu}_i \bar{\mu}_i'}, \quad (20)$$

де K і K' – коефіцієнти, що залежать від геометрії досліду і атомних констант; τ_a і τ_m – коефіцієнти істинного фотопоглинання первинних γ -квантів елементів M і A ; $\bar{\mu}_i$ і $\bar{\mu}_i'$ – приведені масові коефіцієнти послаблення потоків первинного і вторинного випромінювань.

Якщо для спрощення викладок знехтувати ефектом додаткового підбудження атомів елемента, що визначається, однократно розсіяними γ -квантами радіонукліда (останній доданок у виразі (18)), то отримаємо співвідношення у вигляді

$$N = N_i + (C + D) \cdot N_m + BN_s. \quad (21)$$

Аналізуючи співвідношення (21), необхідно пам'ятати про те, що N_i та N_s зменшуються, а N_m – збільшується при зростанні масової долі елемента-завади C_m .

Якщо використовувати для аналізу диференціальний фільтри Росса, то при накладанні ліній елемента, що визначається, домішками і розсіяним випромінюванням

$$\frac{dN}{dC_m} = \frac{K_2 (\mu_1^a)^2 (\mu_i^a)^2 C_a - 2 \bar{\mu}_i K_2 C_a C_m (\mu^m - \mu^h)}{(\bar{\mu}_i)^4} - \frac{K \mu_i^a C_a (\mu^i - \mu^h)}{(\bar{\mu}_i)^2}. \quad (27)$$

Це змінювання визначає, в основному, другий дріб отриманого співвідношення.

Із (27) виходить, що вплив домішок на результати рентгенорадіометричного аналізу може бути досить значним. Для з'ясування можливості усунення цього

$$\text{де } \mu_s = (\mu_1^a - \mu_1^h) \cdot C_a + (\mu_1^a - \mu_s^h) \cdot C_a + (\mu_1^m - \mu_s^h) \cdot C_m + \mu_1^h + \mu_s^h. \quad (29)$$

При малих $h\nu$ можна припустити, що $\mu_s^h \cong \mu_1^h$, тоді (29) набуде вигляду:

$$\mu_s = 2(\mu_1^a - \mu_1^h) \cdot C_a + (\mu_1^m - \mu_1^h) \cdot C_m + 2\mu_1^h \quad (30)$$

і dN/dC_m визначиться:

$$\frac{dN}{dC_m} = \frac{2(\mu_1^m - \mu_1^h) \cdot K_s \cdot a \cdot \sigma}{(\bar{\mu}_s)^2} \neq \frac{dN}{dN_m}. \quad (31)$$

Тільки при умові, що підбудження немає, тобто, коли виконуються умови

$$(h\nu_i)_m < E_k^a \text{ і } (p\nu_i)_m \gg E_k^a \quad (32)$$

та додаткова умова $\bar{\mu}_1 \cong \bar{\mu}_s$, для спектрального відношення η отримаємо остаточний вираз:

$$\text{Тоді } \frac{dN'_s}{dC_m} = -\frac{2(\mu_1^m - \mu_1^h) K_s a \sigma}{(\bar{\mu}_s)^2} + q \frac{K \mu_i - K C_m (\mu^m - \mu^h)}{(\bar{\mu}_m)^2} + q' \frac{K C_m}{\bar{\mu}_i}, \quad (35)$$

де q і q' – коефіцієнти компенсації, які визначаються в процесі РРА наборів еталонних проб, що охоплюють весь діапазон варіацій вмісту елементів, що визначаються, в рудах родовища, чи на державних стандартних зразках (ДСЗ) руд. Порівнюючи (35) і (31), впевнюємося в тому, що останні два доданки в (35) в змозі дещо виправити картину при правильному знаходженні коефіцієнтів q і q' .

Запропонований спосіб обліку впливу домішок-завад і ефекту матриці був перевірений експериментально на пробах руд Джезказганського родовища мідистих піщаників (основний елемент – мідь, елемент, що заважає –

можна знехтувати. Тоді вираз (18), з врахуванням (17) і (19), набуде вигляду:

$$N \cong N_i + DN_m = \frac{K C_a \tau_a}{\bar{\mu}_i} + \frac{K_2 C_a C_m \tau_a \tau_m}{\bar{\mu}_i \bar{\mu}_i'}, \quad (22)$$

де $K_2 = K \cdot K'$.

Припускаючи (зовсім грубо), що $\bar{\mu}_i = \bar{\mu}_i'$ і

$\tau_m = \tau_a = \mu_i^h = \mu_i^a$ (тобто ефект фотопоглинання переважає в області малих енергій, а E_a і E_m близькі один до одного), можемо привести вираз (22) до вигляду:

$$N = \frac{K \mu_i^a C_a}{\bar{\mu}_i} + \frac{K_2 C_a C_m (\mu_i^a)^2}{(\bar{\mu}_i)^2}, \quad (23)$$

$$\text{де } \mu_i = (\mu^a - \mu^h) \cdot C_a + (\mu^m - \mu^h) \cdot C_m + \mu^h; \quad (24)$$

$$\mu^a = \mu_i^a + \mu_1^a; \quad (25)$$

$$\mu^h = \mu_i^h + \mu_1^h. \quad (26)$$

Із виразу (23) можна оцінити змінювання N при різних варіаціях C_m :

впливу в способі спектральних відношень оцінимо зміну N_s при варіаціях C_m . Для цього N_s запишемо у вигляді

$$N_s = \frac{K_s a \sigma}{\bar{\mu}_s}, \quad (28)$$

$$\eta = \frac{dN'}{dC_m} \bigg/ \frac{dN_s}{dC_m} = \frac{\mu_a C_a}{2}. \quad (33)$$

Із цього виразу однозначно випливає, що величина спектрального відношення не залежить від масової долі елемента-домішка в пробі, а отже ефект матриці відсутній.

При РРА поліметалічних руд складного речовинного складу (мідь і цинк, наприклад, в присутності свинцю, що має місце в Джезказгані, Казахстан) умова (22) не виконується, тому ефектом підбудження нехтувати неможна. В цьому випадку досягти усунення ефекту матриці можна шляхом вимірювання відношень dN_s/dC_m і dN'/dC_m , реєструючи деяку суму:

$$N'_s = N_s + q N_m = N_s + q \frac{K C_m}{\bar{\mu}_i} = \frac{K_s a \sigma}{\bar{\mu}_s} + q \frac{K C_m}{\bar{\mu}_i}. \quad (34)$$

$$\text{де } q = \frac{K \mu_i - K C_m (\mu^m - \mu^h)}{(\bar{\mu}_m)^2} + q' \frac{K C_m}{\bar{\mu}_i}, \quad (35)$$

цинк, матриця – свинець) і Майкаїн-В (основний елемент – мідь, елементи, що заважають – цинк і свинець, матриця – залізо і барій) з використанням диференціальних фільтрів Росса. Апробація дала виключно високі результати. В якості аналітичних параметрів фігурували "ускладнені" величини спектральних відношень:

$$\eta_{Cu} = \frac{\Delta N_{Cu}}{N_s + q_1 \Delta N_{Pb} + q_2 \Delta N_{Zn}}; \quad (36)$$

$$\eta_{Zn} = \frac{\Delta N_{Zn}}{N_s + q_3 \Delta N_{Pb} + q_4 \Delta N_{Cu}}; \quad (37)$$

$$\eta_{Pb} = \frac{\Delta N_{Pb}}{N_s + q_5 \Delta N_{Zn} + q_6 \Delta N_{Cu}}, \quad (38)$$

де ΔN_{Cu} , ΔN_{Zn} , ΔN_{Pb} – потоки рентгенівських флуоресценцій атомів міді, цинку і свинцю, виділені за допомогою диференціальних фільтрів Росса; N_s – потік однократно розсіяного випромінювання радіонукліда; $q_1 \div$

q_6 – коефіцієнти, що компенсують поглинання розсіяного випромінювання визначуваними елементами.

Значення спектральних відношень η_i виявилися досить стійкими до варіацій (у вельми широкому діапазоні) масових долей елементів-завад. Ефективність запропонованого способу обліку ефекту матриці можна оцінити за даними РРА державних стандартних зразків (ДСЗ) руд з різних поліметалічних родовищ Казахстану, що приведені в табл. 1.

Таблиця 1. Результати РРА ДСЗ руд поліметалічних родовищ Казахстану

ДСЗ	Тип руди (родовище)	Вміст (%)		
		Cu	Pb	Zn
2887	Мідистий пісковик (Джезказган)	0,56		
		0,55		
2888	Мідистий пісковик (Джезказган)	1,55	0,11	
		1,55	0,10	
2889	Поліметалічна (Джезказган)	3,16	1,90	0,80
		3,15	1,89	0,81
2891	Концентрат мідний (Джезказган)	40,45	2,27	2,86
		40,40	2,25	2,89
1433	Барит-поліметалічна (Ачісай)	0,29	0,71	0,51
		0,29	0,70	0,52
1434	Барит-поліметалічна (Міргалімсай)	0,35	3,49	
		0,35	3,44	
1435	Барит-поліметалічна (Байжансай)	0,13	2,63	3,30
		0,13	2,66	3,32
3593	Поліметалічна (Майкаїн)	1,01	0,26	4,69
		0,99	0,27	4,63
3596	Колчед.-барит.-полімет. (Майкаїн)	12,99	0,57	1,18
		13,10	0,56	1,22
6588	Барит-поліметалічна (Жайрем)		1,60	4,62
			1,57	4,68
6587	Барит-поліметалічна (Жайрем)		2,85	2,73
			2,86	2,72

Таким чином, результати теоретичних і експериментальних досліджень втілилися в конкретну методику рентгенорадіометричного аналізу проб руд поліметалічних родовищ Казахстану досить складного речовинного складу, яка ефективно враховує "матричний ефект". Методика успішно застосовувалася на Джезказганському гірничо-металургійному комбінаті, Текелійському свинцево-цинковому комбінаті і рудоуправлінні "Майкаїнзолото". Досвід її застосування свідчить, що вона забезпечувала точність РРА за третьою категорією по ОСТ-41-08-205-81 (точність рядового хімічного аналізу).

1. Мейер В.А., Нахабцев В.С. Авт. Свид. № 171482 от 16.02.1963. – Бюллетень изобретений, 1965, № 11. 2. Лосев Н.Ф. Количественный рентгеноспектральный флуоресцентный анализ. М., – 1969. 3. Мамиконян С.В. Аппаратура и методы флуоресцентного рентгенорадиометрического анализа. М., – 1976. 4. Бахтияров А.В. Рентгеноспектральный флуоресцентный анализ в геологии и геохимии. – Л., – 1985. 5. Борходоев В.Я. Рентгенофлуоресцентный анализ горных пород способом фундаментальных параметров. – Магадан, – 1999. 6. Сфименко С.А. Алгоритмы расчета концентраций элементов при рентгенорадиометрическом анализе руд на спектрометре РПП-12 // Тр. мол. уч. (техн. науки): Владикавказ. – 2009. – №3. 7. X-ray detector <http://www.amptek.com/xr100cr.html>. 8. Silicon Drift Detector (SDD) <http://www.amptek.com/drift.html>

Надійшла до редколегії 22.11.09

УДК 550.834

І. Безродна, канд. геол. наук, Д. Безродний, канд. геол. наук, Т. Кузьменко, студ.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ГЛИНИСТОСТІ НА ПРУЖНІ ВЛАСТИВОСТІ СКЛАДНОПОБУДОВАНИХ ВАПНЯКІВ ВОЛИНО-ПОДІЛЛЯ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром фіз.-мат. наук, проф. Г.Т. Продайводою)

Досліджено вплив різного типу та концентрації глин, структури пустотного простору, флюїдонасичення, орієнтації пустот та включень на ефективні акустичні та пружні властивості карбонатних порід-колекторів Волино-Поділля.

The type and clay concentration, structure of pore space, fluid saturation, orientation of cavities and inclusions influences on the effective acoustic and elastic properties of carbonate reservoir-rocks of the Volyno-Podillia is investigated.

Вступ. В геології та геофізиці досить успішно використовуються наближення суцільного середовища, що відіграє важливу роль у дослідженні широкого кола геолого-геофізичних проблем, оскільки дозволяє засто-

совувати фізико-математичні методи теорії пружних деформацій, текучості ідеальної та в'язкої рідини, тепло- і масопереносу і т. ін. Важливим є дослідження впливу математичних параметрів на геологічні характе-

ристики та область застосування моделей і їх відповідність природним процесам.

Актуальність проблеми математичного моделювання, зокрема, впливу глинистості полягає в необхідності найбільш повного вилучення інформації при інтерпретації ультразвукових дослідженнях керна глибоких і надглибоких свердловин та вирішення задач прогнозування геологічного розрізу.

Проблема дослідження анізотропії пружних властивостей глинистих мінералів і глин представляє великий інтерес у зв'язку з пошуками родовищ нафти і газу. Утворення нафти невід'ємно пов'язане з глинистими мінералами. Органічна речовина, яку вміщують глинисті породи, перетворюється у нафтові вуглеводні при каталітичному впливові породотворюючих глинистих мінералів. Глинисті породи, які розташовані на шляху міграції вуглеводнів, не лише сприяють формуванню родовищ, але й запобігають їх руйнуванню. Особливості кристалохімічної будови глинистих мінералів і їх специфічна поведінка при взаємодії із водою, в основному, і визначають такі властивості глин, як пластичність, набухання при насиченні водою та усадку при висиханні. Цим і пояснюються аномальна міцність та деформаційні явища глинистих порід – розрідження при динамічній зовнішній дії, різке падіння міцності при зволоженні, випучування глинистої породи під фундаментом при нерівномірному навантаженні [1].

Експериментальні дослідження анізотропії пружних властивостей глинистих мінералів нечисленні та досить суперечливі. Це пояснюється не лише відсутністю достатніх за розміром та досконалістю за якістю монокристалів глинистих мінералів, але й складністю їх експериментальних досліджень внаслідок розвитку у шаруватих мінералів досконалої спайності. Наявність різних систем орієнтації тріщин в глинах не лише змінює співвідношення між пружними постійними, але і пружну анізотропію та пружну симетрію текстури глин.

Основною метою математичного моделювання пружних властивостей складнопобудованих порід-колекторів Волино-Подільської нафтогазоносною області є дослідження зміни густини, пружних постійних моделі, коефіцієнтів та параметрів анізотропії, компонентів акустичного тензору в залежності від характеру насичення (мінералізована вода, газ), включень різних типів глин та їх концентрації.

Стан проблеми. На сьогодні в науковому світі все більше приділяють увагу інформації про стан геологічного середовища на найменшому структурному та тектурному рівні.

Основний розвиток математичного моделювання розпочався в другій половині XX століття. Починаючи з цього часу був виданий ряд фундаментальних видань М.Г. Семененка [2], К.С. Александрова, Г.Т. Продайводи [3] та ін. Особливо великий внесок в розвиток математичного моделювання зробили науковці геологічного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка під керівництвом Продайводи Г.Т. та Вижви С.А. В роботах цієї школи вперше за допомогою методів математичного моделювання проведена значна кількість досліджень впливу ефективних пружних та акустичних параметрів геологічного середовища на певні фізичні та інші характеристики досліджуваної породи. В загальному науковому плані математичне моделювання застосовують в різних сферах дослідження.

Вивченню пружних та акустичних властивостей глинистих мінералів присвячено незначну кількість публікацій, зокрема, на теренах колишнього Радянського Союзу. Це роботи таких вчених, як Г.Т. Продайводи (Україна), М.Г. Храменкова (Росія, Казань, 2002 р.)

Більшого розвитку дослідження пружних властивостей глинистих порід набуло за кордоном, зокрема, в США, Європі та країнах Азії. Серед дослідників, котрі займалися цими проблемами, слід відзначити наступних: Misako Jato, Tanta Ono, Cliff T. Juhnston, Akihiko Yamogishi – Японія; Triana Vanorio, Hanika Prasad, Amos Nur – Франція; М.Копытська-Мюллер, U. Rabe – США; Narmul Haque, Knut Bjorlykke – Норвегія та інші.

Наявність анізотропії акустичних хвиль свідчить про знаходження впорядкованості різної фізичної природи на різних структурних рівнях геологічного середовища. Типи впорядкованості визначаються механізмом деформації геологічного середовища. Відповідно, інформацію про механізм геодинамічних процесів, що протікають в надрах Землі, можна встановити за результатами інтерпретації досліджень азимутальної сейсмічної анізотропії різних типів хвиль.

Геофізичні дослідження складнопобудованих порід-колекторів і оцінка їх ємнісно-фільтраційних властивостей є досить складними. Важливою проблемою при комплексній інтерпретації акустичних даних є вивчення анізотропії акустичних хвиль тріщинуватого геологічного середовища. Визначення анізотропії пружних хвиль на різних структурних рівнях досліджень розглядається як унікальне джерело інформації при пошуках нафти і газу в складних геологічних умовах [4].

Математичне моделювання пружних властивостей порід являє собою великий інтерес при дослідженні складнопобудованих порід-колекторів, що можливо при застосуванні надійних моделей, які повинні відображати реальну структуру та властивості пустотного середовища.

Методи теорії механіки стохастичного середовища застосовувалися для кількісної оцінки впливу глинистості, пустотного простору та ефективних параметрів геологічного середовища на пружні та акустичні параметри.

Існує ряд наближених методів розв'язку, вони дозволяють розраховувати ефективні геофізичні параметри реального геологічного середовища з певним наближенням. Найпростішими із них є методи усереднення властивостей по макрооб'єму, які відомі як методи Фойгта і Реуса. Вони дають відповідну верхню і нижню межу можливих значень ефективних геофізичних параметрів. Ця межа може бути надзвичайно широкою. Побудову більш вузької межі можна здійснити, якщо скористатися варіаційним методом (методом Хашіна-Штрікмана) [6]. До найбільш відомих методів, які дозволяють покращити наближення ефективних геофізичних параметрів можна віднести методи регуляризації структури, методи стохастичних диференціальних рівнянь, методи варіального розвинення і самоузгодження, метод умовних моментів [3].

Найбільші можливості при практичній реалізації мають методи, які базуються на теорії випадкових полів. Тензорні поля геофізичних параметрів реального геологічного середовища і характеристики його напружено-деформованого стану представляють собою випадкові поля. Тому задачу визначення ефективних пружних постійних можна звести до розв'язку стохастичних рівнянь рівноваги, що дозволяє розраховувати ефективні пружні властивості моделей, максимально наближених до реальних структур реального геологічного середовища з довільними властивостями структурних елементів і без будь-яких обмежень на їх концентрацію.

Для вирішення поставленої задачі використовувався метод умовних моментних функцій із застосуванням розрахункової схеми Морі-Танака, який розроблений на кафедрі геофізики під керівництвом професора Продайводи Г.Т. [3]. Перевага методу умовних моментних функцій в можливості чисельних розрахунків цих пара-

метрів для моделей максимально наближених до реального складнопобудованого колектора.

Модель складнопобудованого колектора розглядається як багатокомпонентне порово-тріщинно-кавернозне середовище, пружні властивості структурних елементів якого і їх напружено-деформований стан є випадковими функціями просторових координат. Вважається, що для будь-якої точки середовища справедливий закон Гука.

Припускається, що тензорні поля пружних постійних, напруг і деформацій є статистично однорідними, оскільки масштаб кореляції випадкових полів набагато менший порівняно із розмірами макрооб'єму складнопобудованого колектору.

Практично обґрунтуванням математичної моделі слугували результати попередніх досліджень авторів та геолого-петрофізичних досліджень зразків вапняків девонського віку свердловин Волино-Подільської монокліналі [5].

Узагальнюючи макро- та мікродослідження порід, об'єктами математичної моделі були обрані: "вапняк гранулярно-тріщинуватий" та "вапняк доломітизований гранулярно-тріщинно-кавернозний". Мінералогічно породи складені кальцитом, доломітом, глиною.

При аналізі пустотного-простору колекції зразків встановлена однонаправлена тріщинуватість та кавер-

нозність, які характеризують вторинні зміни вертикальних деформацій. Пори первинного седиментаційного походження також орієнтовані перпендикулярно осі свердловини. Загальна пористість вапняків змінюється від 8 до 15 %, в середньому складає 12 %, що і прийнято при моделюванні.

Математична модель складнопобудованого карбонатного колектора включає жорстку матрицю, яка мінералогічно представлена кальцитом. Матриця розбита сфероїдальними, різними за формою, розмірами та орієнтацією, пустотами з різними значеннями форматів ($\alpha = a/c$, a, c – напівосі сфероїда обертання) та насичені флюїдом чи газом. Зміна параметрів матриці відповідно впливає на різноманітність пружних та акустичних параметрів моделей.

Для математичного моделювання обрані два різновиди моделі: газо- і водонасичений вапняк, які відрізняються за мінеральним складом, будовою пустотного простору. Включення глини представлені трьома типами: іллїт, каолінит, монтморилоніт, концентрація яких змінюється в межах від 1 до 6 %. Всі включення в породах розташовані в площині X_1X_2 , окрім глини, які розповсюджені в моделі №1 хаотично (табл. 1).

Таблиця 1. Задані параметри математичних моделей

Модель		№1 "Вапняк гранулярно-тріщинуватий"			№2 "Вапняк доломітизований гранулярно-тріщинно-кавернозний"		
Типи включень		Формат включень	Концентрація включень, %	Орієнтація включень	Формат включень	Концентрація включень, %	Орієнтація включень
Пустотний простір	Тріщини	0,005	2	в площині X_1X_2	0,005	2	в площині X_1X_2
	Пори	0,9	10	в площині X_1X_2	0,9	5	
	Каверни	-	-		2010	5	
Мінеральні включення	Глини	0,7	1-6	хаотично	0,7	1-5	
	Доломіт	-	-		0,7	30	

Результати. В ході моделювання основна увага приділялася характеру насичення пустотного простору газом, мінералізованою водою концентрації та виду глини, що в результаті дає перше уявлення про характеристики отриманої моделі. Важливу роль в моделюванні даних зразків відіграють результати, що отримані при різних концентрації глини, яка суттєво відображає зміни пружних властивостей моделі.

При дослідженні змін густини під час моделювання простежується її зростання при збільшенні концентрації глини в породі для моделей, в склад яких входить іллїт (густина 2,79 г/см³), в решті випадків – результат обернений (густина каолініту – 2,52 г/см³, а монтморилоніту – 2,55 г/см³).

В результаті дослідження моделей з різними пустотними наповнювачами (газ, мінералізована вода) густина породи збільшується в середньому від мінімальних значень 2,4 г/см³ для газонасичених порід до 2,5 г/см³ – для водонасичених.

При проведенні математичного моделювання отримані акустичні та пружні параметри запропонованих моделей:

- пружні постійні (C_{ij}^*),
- параметри лінійності (L_μ) та сланцюватості (S_μ),
- компоненти акустичного тензору μ_{11} , μ_{22} , μ_{33} ,
- інтегральний коефіцієнт анізотропії A_μ .
- побудовані стереопроєкції, що відображають пружні параметри моделей:

– фазова швидкість квазіпоздовжньої хвилі;

- різниця між "швидкою" і "повільною" квазіпоперечними хвилями;
- диференціальний коефіцієнт пружної анізотропії;
- кут відхилення вектора пружних зміщень від напрямку хвильової нормалі.

При дослідженні співвідношень пружних постійних (C_{ij}^*) та параметрів лінійності (L_μ) і сланцюватості (S_μ) визначено, що пружна симетрія текстури моделей – планальна поперечно-ізотропна, про що свідчить характерне співвідношення пружних постійних ($C_{11} > C_{33}$, $C_{66} > C_{44}$, $C_{12} > C_{13}$) та розташування біля осі ОУ точок залежності $L_\mu = f(S_\mu)$ (параметр сланцюватості в усіх моделях коливається від 1,0001 до 1,0312, а лінійності – в межах 1,091 – 1,261).

Співвідношення пружних постійних дає змогу говорити про орієнтацію тріщин в моделі – найменша концентрація орієнтованих тріщин знаходиться в напрямках, де пружні постійні найбільші. В моделі "вапняк доломітизований тріщинуватий" є три системи тріщин, дане твердження визначене з наступного співвідношення: $C_{11} > C_{22} > C_{33}$; $C_{44} < C_{55} < C_{66}$; $C_{12} > C_{13} > C_{23}$ [1].

Значення інтегрального коефіцієнта анізотропії A_μ моделей складнопобудованих порід-колекторів, визначеного в результаті математичного моделювання, коливається в межах 4,383 – 6,716 % в газонасиченому колекторі, а в водонасиченому становить 9,129 – 10,72 % (рис. 1.).

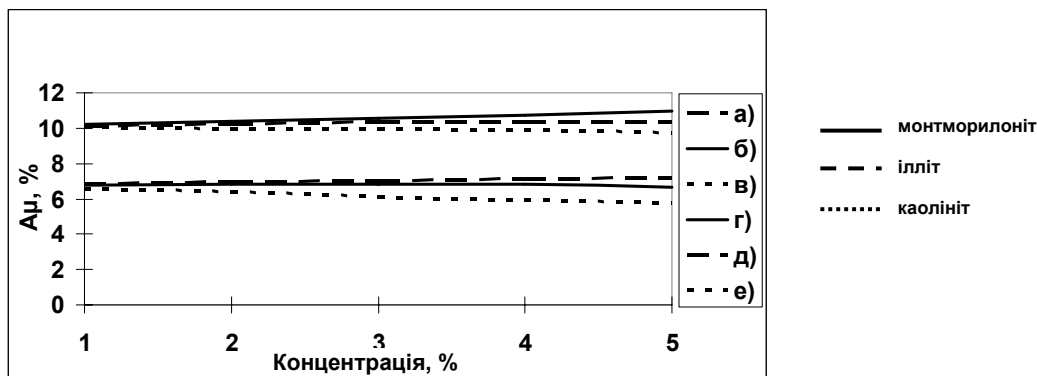


Рис. 1. Зміна інтегрального коефіцієнта анізотропії для моделі "вапняк доломітизований гранулярно-тріщинно-кавернозний": а), б), в) – водонасичений вапняк; г), д), е) – газонасичений вапняк

Величина даного параметру змінюється в залежності від концентрації глинистих мінералів. В газонасичених і водонасичених моделях, де глинисті включення представлені іллітом та каолінітом, значення коефіцієнта анізотропії поступово, плавно збільшуються. Для моделей, де включенням є монтморилоніт, характерним є зменшення коефіцієнта анізотропії, що зумовлено фізичними та структурними особливостями мінералу.

Під час математичного моделювання компоненти акустичного тензора μ_{11} , μ_{22} , μ_{33} , в основному, зростають при збільшенні концентрації глинистих мінералів. Діапазон змін значень для цього ж параметру становить:

о для моделі "вапняк гранулярно-тріщинуватий" газонасичений від 19,69 до 26,29;

о попередня модель, але з водонасиченням – 27,69 до 37,79;

о для моделі "вапняк доломітизований гранулярно-тріщинно-кавернозний" газонасичений значення коливаються в межах 29,84-37,04,

о попередня модель вапняка, але водонасиченого – 37,48-39,01.

При дослідженні структурних особливостей моделей проведений аналіз параметрів азимутальної анізотропії пружних хвиль, що представляються стереопроєкціями ізоліній вказівних поверхонь.

На стереопроєкціях кількісно і якісно відображаються вплив глинистості на структуру пустотного простору та флюїдонасичення глинистих порід в якості зміни в значеннях параметрів їх пружної анізотропії.

За результатами отриманих стереопроєкцій ізоліній пружних параметрів в залежності від типу та концентрації глинистого мінералу встановлено, що показові відмінності в структурних та кількісних характеристиках спостерігаються в більшості випадків для газонасичених моделей вапняка гранулярно-тріщинуватого. Як правило, тріщинуватість має більший вплив на структуру породи, ніж кавернозність, яка присутня в моделях "вапняк доломітизований гранулярно-тріщинно-кавернозний".

Як вище зазначалося, флюїдонасичення особливим чином впливає на зміни в структурних особливостях, які відображаються на стереопроєкціях. В даному випадку яскравим прикладом флюїда-визначника є газ.

Як приклад зміни структурних особливостей від типу та концентрації глин можна представити модель – вапняк гранулярно-тріщинуватий (включення – ілліт) газонасичений. Зміни найкраще проявляються в характері розповсюдження на стереопроєкціях кута відхилення вектора пружних зміщень від напрямку хвильової нормалі, значення якого коливаються в межах від 0 до 9,5 (рис. 2.).

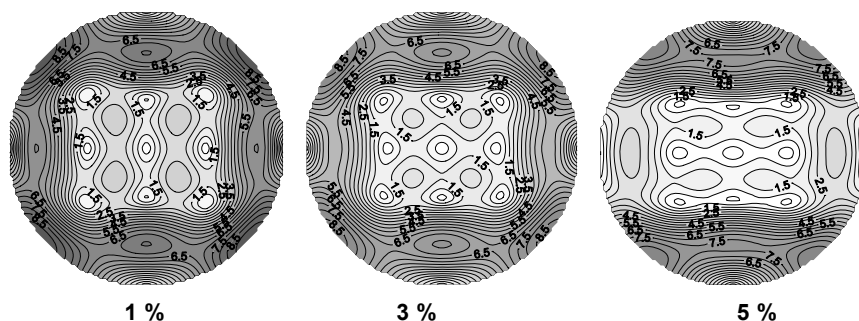


Рис. 2. Стереопроєкції ізоліній кута відхилення вектора пружних зміщень від напрямку хвильової нормалі для моделі "вапняк гранулярно-тріщинуватий, газонасичений"

В середньому швидкість квазіпоздовжньої хвилі для моделей "вапняк гранулярно-тріщинуватий водонасичений" змінюється від 4,0 км/с (включення – каолініт) до 4,9 км/с

(включення – ілліт); для газонасиченого – від 3,02-3,22 км/с до 3,44-3,68 км/с. Цей же параметр для моделей "вапняк доломітизований гранулярно-тріщинно-кавернозний водонасичений" коливається в межах 4,65-5,55 км/с (включення – монтморилоніт); а для вапняка

газонасиченого цей параметр коливається – від 3,8-3,9 км/с до 4,36-4,48 км/с.

Значення різниці між швидкостями "швидкої" та "повільної" квазіпоперечних хвиль для моделей тріщинуватого вапняку коливається від 0 до 0,58 км/с (включення – каолініт). В залежності від насичення моделі породи величини змінюються в наступних межах: вапняк газонасичений – 0 – 0,29-0,4 км/с; для моделей кавернозного вапняка зміна параметру спостерігається

ся від 0-0,02 до 0,4-0,46 км/с (включення – іллїт, каолініт); а для газонасиченого дещо значення менші – від 0 до 0,26 км/с. Даний параметр характеризує інтенсивність явища розщеплення поперечних хвиль вздовж заданого напрямку хвильової нормалі та, таким чином, анізотропність породи.

Один з найважливіших параметрів – диференціальний коефіцієнт пружної анізотропії, що характеризує наскільки анізотропія середовища відрізняється від найближчого до нього ізотропного середовища, змінюється для моделей вапняк тріщинуватий водонасичений від 0-1 % до 14 – 15,5 % (включення – каолініт), для цієї ж моделі, але газонасиченої – від 0 % до 11,5 %. Для моделей кавернозного водонасиченого вапняка діапазон зміни значень коефіцієнта пружної анізотропії становить від 0-1% до 13,5 % (включення – каолініт), а для газонасиченого – від 0 до 9,5 %.

Останній параметр пружної анізотропії – кут відхилення вектора пружних зміщень від напрямку хвильової нормалі на стереопроекціях моледей тріщинуватого водонасиченого вапняка змінюється від 0 до 10, для газонасиченого – від 0 до 8-11, а для моделей вапняка кавернозного водонасиченого і газонасиченого цей параметр коливається від 0 до 9,5.

Важливою характеристикою стереопроекцій ізоліній вказівних поверхонь є кількість та напрям (характер) розташування мінімумів та максимумів, що вказує на ступінь складності структури породи. Таким чином, можна сказати, що представлені моделі вапняка гранулярно-тріщинуватого і доломітизованого гранулярно-тріщинно-кавернозного досить добре відрізняються одна від одної. Доведено, що у зв'язку з більшим впливом тріщин в моделі 1, параметри пружної та акустичної анізотропії відрізняються більше у порівнянні з моделлю 2. На стереопроекціях спостерігаються осі симетрії мінімумів та максимумів (їх симетричне розташування). Визначено, що більш складну будову мають моделі "вапняка гранулярно-тріщинуватого газонасиченого", також певно виражені осі симетрії для моделей з включенням монтморилоніту обох видів флюїдонасичення.

УДК 550.831+550.838

Висновки. Таким чином, в роботі розроблено математичну модель складно-побудованого кавернозного колектора, яка характеризує карбонатні колектори Волино-Подільського регіону.

За результатами математичного моделювання встановлено:

- о за акустичними даними можливо кількісно і якісно встановити зміни в структурі пустотного простору, флюїдонасиченні, типи та концентрації глин в породи;

- о густина породи при водо- чи газонасиченості змінюється в залежності від типу та густини глин, що входять до її складу;

- о параметри акустичної та пружної анізотропії є індикаторами при подібних дослідженнях.

В результаті проведеного моделювання були досліджені акустичні та пружні характеристики запропонованих моделей в залежності від типу та концентрації включень, які були представлені глинистими мінералами (іллїт, каолініт, монтморилоніт) та пустотами різних форматів і флюїдонасичення.

Математичне моделювання є важливим етапом при обґрунтуванні математичних моделей, що використовуються при інтерпретації геофізичних даних для пошуків і розвідки нафто-, газо- та водонасичених порід-колекторів та будуть в подальшому використані для складання банку даних математичних моделей складно-побудованих карбонатних порід Волино-Поділля.

1. Клубова Т.Г. Глинистые коллекторы нефти и газа. -М., 1988.
2. Семенов М.Г. Введение в математическое моделирование,
3. Александров К.С., Продайвода Г.Т. Анизотропия упругих свойств минералов и горных пород. – Новосибирск, 2000.
4. Петрофізичні і літолого-петрографічні дослідження зразків керну порід девону і силуру Волино-Поділля // Вижва С.А., Безродна І.М. та ін. / Звіт, К., 2006.
5. Вижва С.А., Продайвода Г.Т., Безродна І.М. Петрофізичні дослідження як основа для розробки моделі структури пустотного простору складнопобудованих карбонатних порід-колекторів // Перспективи нарощування та збереження енергетичних ресурсів України: Зб. наук. пр. – Івано-Франківськ, – 2006. С.110-121.
6. Дахнов В.Н., Вендельштейн Б.Ю. Методическое руководство по изучению коллекторов со сложной структурой порового пространства методами промысловой геофизики. – М., 1981.

Надійшла до редколегії 02.12.09

А. Якимчик, канд. фіз.-мат. наук, О. Чорна, канд. фіз.-мат. наук

ПРО ПОБУДОВУ АНАЛІТИЧНИХ АПРОКСИМАЦІЙ ЕЛЕМЕНТІВ АНОМАЛЬНИХ ГРАВІТАЦІЙНИХ ПОЛІВ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром фіз.-мат. наук, проф. М.А. Якимчуком)

Коротко викладається метод побудови лінійних аналітичних апроксимацій в гравіметрії і магнітометрії. Обґрунтовується необхідність співробітництва з організаціями, що володіють потужною обчислювальною технікою, для розв'язання систем лінійних алгебраїчних рівнянь великої розмірності.

The method of linear analytical approximations construction in gravimetry and magnetometry is shortly set out. The necessity of collaboration with organizations which are owned computers of powerful facilities for solution of the systems of the linear algebraic equations of the big dimension is offered.

Вступ. З підвищенням точності інструментальних спостережень, а також різким збільшенням потужності комп'ютерів необхідна радикальна зміна інформаційних базисів – в гравіметрії, магнітометрії та геодезії. Ці базиси повинні складатися з трьох частин:

- а) банків первинних інструментальних даних;
- б) аналітичних апроксимацій первинних (оброблених введенням відповідних поправок) даних різного типу;
- в) картографічного зображення відповідних функцій – отриманого на основі попередньої побудови аналітичних апроксимацій [1].

Лінійні інтегральні апроксимації. Найбільш важливими являються лінійні інтегральні апроксимації

елементів аномальних потенціальних полів. Саме вони разом з даними первинних спостережень повинні складати основу нового інформаційного базису гравіметрії. Суть методу лінійних інтегральних зображень полягає в наступному. Нехай задано N величин $f_{i,\delta}$, $i = 1, 2, \dots, N$, при цьому

$$f_{i,\delta} = f_i + \delta f_i,$$

де f_i – значення корисного сигналу, а δf_i – значення похибки, і нехай величини f_i мають наступні інтегральні зображення

$$f_i = \sum_{r=1}^R \int_{M_r} \rho_r(\xi) K_r(\xi, x) d\mu_r(\xi),$$

де M_r – задані точкові многов'язності (в загальному випадку в евклідовому просторі $R^{(n)}$, $n \geq 1$, але в геофізиці найчастіше $n = 2$ або $n = 3$), $\mu_r(\xi)$ і $K_r(\xi, x)$ – задані міри і функції на M_r , $\rho_r(\xi)$ – шукані функції, що задовольняють умовам

$$\int_{M_r} \rho_r(\xi) (K_r(\xi, x))^2 d\mu_r(\xi) < +\infty, 1 \leq r \leq R.$$

В гравіметрії та магнітометрії метод лінійних інтегральних зображень використовується в основному в двох варіантах: а) коли будується апроксимація заданих величин $f_{i,\delta}$ (елементів поля) на невеликій території і сферичністю Землі можна знехтувати; в цьому випадку всі M_r співпадають і представляють собою горизонтальну площину, що розташована нижче всіх точок $x^{(i)}$, в яких задані значення $f_{i,\delta}$; б) коли будується апроксимація елементів поля на досить великих територіях і сферичність Землі треба враховувати; в цьому випадку всі M_r співпадають і представляють собою поверхню нормальної Землі (сфери чи еліпсоїда), що розташована нижче всіх точок $x^{(i)}$, в яких задані значення $f_{i,\delta}$.

Метод побудови лінійних аналітичних апроксимацій в гравіметрії. В роботі [6] В.М. Страхов запропонував більш простий підхід до побудови лінійних аналітичних апроксимацій функцій, визначених на фізичній поверхні Землі, в тому числі поля $\Delta g(x, y, z)$, в слабкому регіональному варіанті (коли сферичністю Землі вже знехтувати не можна, але територія, для якої потрібно побудувати апроксимації тих чи інших функцій ще достатньо мала і можливо використати переріз Землі деякою площиною з достатньо малою висотою поверхні Землі над цією площиною).

Зауважимо, що $\Delta g = \Delta g(x, y, z)$, розглядувана як функція

$$\Delta g(x, y, z) = - \frac{\partial V_a(x, y, z)}{\partial r},$$

де $(x, y, z) = (r, \varphi, \theta)$, тобто r – одна з сферичних координат, а $V_a(x, y, z)$ – потенціал аномального поля, не являється гармонічною функцією зовні поверхні Землі ∂G , а функція

$$\Delta W(x, y, z) = r \Delta g(x, y, z) = -r \frac{\partial V_a(x, y, z)}{\partial r}$$

є гармонічною зовні ∂G .

На підставі сказаного проблема побудови лінійної аналітичної апроксимації функції $\Delta W(x, y, z)$ по заданій сукупності наближених значень

$$\Delta W_{i,\delta} \approx \Delta W_i = r^{(i)} \Delta g(x^{(i)}, y^{(i)}, z^{(i)}),$$

$$\Delta W_{i,\delta} = \Delta W_i + \delta \Delta W_i, 1 \leq i \leq N,$$

де

$$r^{(i)} = \left[(x^{(i)})^2 + (y^{(i)})^2 + (z^{(i)})^2 \right]^{\frac{1}{2}},$$

у випадку слабкого регіонального варіанту розв'язується досить просто (рис. 1).

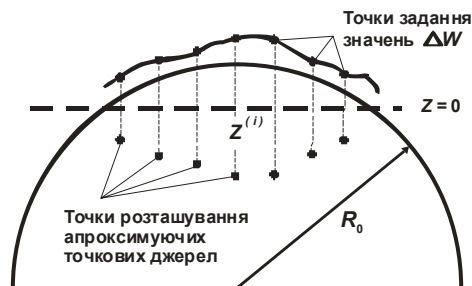


Рис. 1. Пояснення до конструкції лінійної аналітичної апроксимації поля в слабкому регіональному варіанті

А саме, приймається

$$\Delta W(x, y, z) \approx \Delta W_{\text{апр}}(x, y, z) =$$

$$= \sum_{j=1}^N \frac{c_j}{[(x - x^{(i)})^2 + (y - y^{(i)})^2 + (z - z^{(i)})^2]^{1/2}},$$

де c_j – коефіцієнти, які потрібно знайти по заданим значенням $\Delta W_{i,\delta}$, $i = 1, 2, \dots, N$.

Коефіцієнти c_j , $1 \leq j \leq N$, що є компонентами N – вектора c , знаходяться наближено на основі знаходження стійкого наближеного розв'язку системи лінійних алгебраїчних рівнянь:

$$A c = \Delta W_{\delta}, A = A^T > 0,$$

де $A = (N \times N)$ – матриця з елементами

$$a_{ij} = a_{ji} = \frac{1}{[(x - x^{(i)})^2 + (y - y^{(i)})^2 + (z - z^{(i)})^2]^{1/2}},$$

$$1 \leq i, j \leq N,$$

а $\Delta W_{\delta} = N$ – вектор з компонентами $\Delta W_{i,\delta}$.

Далі здійснюється перехід до нормованої системи лінійних алгебраїчних рівнянь, пропонується відповідний метод знаходження послідовних наближень і т.д.

Поняття складової апроксимації і вихідні дані.

Якщо йдеться про побудову метрологічних лінійних апроксимацій на великих територіях, то слід використовувати ієрархію, що містить три рівні: вищий, середній і низький [1]. Далі будемо розглядати апроксимацію виключно на низькому рівні, котра будується в масштабі 1:200000, в формі сукупності складових апроксимацій – по листах масштабу 1:200000. Суть складової апроксимації полягає в тому, що для кожного листа будується своя власна апроксимація, причому тільки за даними для даного листа і суміжних з ним. При цьому у разі листів масштабу 1:200000 беруться дані з двадцяти чотирьох найближчих листів (рис. 2).

Відзначимо, що реалізація апроксимаційного підходу до вирішення, зокрема, задач гравіметрії вимагає принципово нового підходу до даних експериментальних досліджень [2, с. 105–111; 3, с. 154]. Простіше кажучи, для інтерпретації аномалій сили тяжіння потрібно користуватися не картами аномалії Буге, а значеннями аномалії Буге в пунктах спостереження.

На цей час вся територія України повністю знята гравіметричною зйомкою масштабу 1:200000 з перетином ізонамал 1,0 – 2,0 мГал. В фондах різних підприємств накопичена величезна кількість гравіметричних матеріалів, які були отримані в різний час і представлені, як правило, на паперових носіях. Не викликає сумні-

вів, що вирішення проблем збереження інформації та ефективного використання її потрібно здійснювати за допомогою сучасних інформаційних технологій і створення банків даних. Тому, починаючи з 2001 року, в ДГЕ "Дніпрогеофізика" і ДГП "Укргеофізика" були розпочаті роботи зі створення бази даних та побудови цифрової електронної карти гравітаційного поля України [4]. Цей проект практично завершений.

Припустимо, що ми маємо в своєму розпорядженні базу гравіметричних даних по всіх двадцяти п'яти листах (рис. 2). Оцінимо кількість даних спостережень (маються на увазі аномальні значення прискорення сили тяжіння, координати і висоти точок), необхідних для побудови аналітичної апроксимації гравітаційного поля в масштабі 1:200000 для конкретного листа, наприклад, М-37-XXXI (рис. 2). Відомо, що на лист L-37-III гравіметричної карти СРСР нанесено 81 опорний пункт, 1057 рядових точок зйомок масштабу 1:200000 і 498 точок детальних зйомок [5], тобто всього 1636. Цілком логічно і обґрунтовано припустити, що кількість точок нанесених на кожний з 24 листів, що залишилися, приблизно така ж. Перемножуючи число точок спостереження на кількість листів, отримуємо 40900 точок.

М-36-XXIII	М-36-XXIV	М-37-XIX	М-37-XX	М-37-XXI
М-36-XXIX	М-36-XXX	М-37-XXV	М-37-XXVI	М-37-XXVII
М-36-XXXV	М-36-XXXVI	М-37-XXXI	М-37-XXXII	М-37-XXXIII
L-36-V	L-36-VI	L-37-I	L-37-II	L-37-III
L-36-XI	L-36-XII	L-37-VII	L-37-VIII	L-37-IX

Рис. 2. До питання побудови аналітичних апроксимацій елементів гравітаційного поля в масштабі 1:200 000

Обчислювальні ресурси. Для даного розгляду важливо, насамперед, що побудова аналітичної апроксимації аномального поля сили тяжіння зводиться до наближеного розв'язку відповідної системи лінійних алгебраїчних рівнянь. Тому ми досить коротко розглядаємо теоретичні основи методу, тим паче, що читач може звернутися при потребі до першоджерел. Для нас є важливим наступний момент. Матриця, що обчислюється в процесі розв'язку задачі має велику розмірність, а саме $P = N \cdot N \approx 1,67 \cdot 10^9$. Природно, що ця задача вимагає значних обчислювальних ресурсів. Автори не вважають цю обставину значною проблемою, оскільки досвід розв'язування подібних задач існує. Зокрема, в публікації [7] приводиться приклад розв'язування на персональному комп'ютері недовизначеної системи лінійних алгебраїчних рівнянь з числом рівнянь $N = 13000$ і числом шуканих невідомих $M = 1039961$, тобто $P = N \cdot M \approx 1,35 \cdot 10^{10}$. Для розв'язування такого

типу задач, а тим більше задач більшої розмірності, безперечно ефективніше використовувати багатопроцесорні обчислювальні системи, ніж персональні комп'ютери. Тут є, принаймні, три можливості. Перша полягає у використанні технічної бази Центру суперкомп'ютерних обчислень Національного технічного університету України "КПІ" [8]. Друга – це співпраця з державним науково-виробничим підприємством "Електронмаш". Третя – співробітництво з Інститутом кібернетики НАН України, в якому з 2005 року експлуатується в режимі цілодобової роботи суперкомп'ютерний комплекс кластерного типу для реалізації інформаційних технологій (СКІТ) [9]. З введенням в дію цього комплексу Україна увійшла до кола країн, що володіють потужною обчислювальною технікою.

Висновки. За великим рахунком все готово для того, щоб почати побудову аналітичних апроксимацій поля аномалій сили тяжіння та рельєфу поверхні Землі для досить великих територій (мається на увазі теорія, методологія, обчислювальні ресурси). Але на цей час говорити всерйоз про розрахунки на практичному матеріалі не приходиться. Для реалізації задачі, якій присвячена дана робота, чи подібної до неї, як мінімум, потрібен:

- а) необхідний об'єм фінансування;
- б) зняття грифу секретності з гравіметричних даних.

Можна скільки завгодно говорити про зміну парадигми [10], руйнування пануючого стереотипу мислення [11], але без вирішення насамперед цих питань справа не зрушить, по суті, з мертвої точки.

1. Страхов В.Н., Степанова И.Э. Новый информационный базис гравиметрии, магнитометрии и геодезии // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Мат. 30-й сессии Междунар. семинара им. Д.Г. Успенского, Москва, 27–31 января 2003 г. В 2-х частях. Ч. 1. – М., 2003.
2. Алексидзе М.А. Решение некоторых основных задач гравиметрии. – Тбилиси, 1985.
3. Страхов В.Н. Геофизика и математика. Методологические основы математической геофизики // Геофизика и математика: Мат. 1-й Всероссийской конференции, Москва, 22–26 ноября 1999 г. – М., 1999.
4. Толкунов А.П., Слободянюк С.О., Мительман В.Б., Шемет В.Г., Малиновский О.К. До проблем побудови цифрової електронної карти гравітаційного поля на території України // Геоінформатика. – 2002. – № 1. – С. 105-107.
5. Гравиметрическая карта СССР масштаба 1:200000, лист L-37-III. Объяснительная записка. Сост. В.В. Курашова. Редактор А.И. Дюков. – М., 1971.
6. Страхов В.Н. Об эффективных по быстродействию и точности методах построения линейных аналитических аппроксимаций в геодезии, геоинформатике и гравиметрии // Геофиз. журн. – 2007. – 29, № 1. С. 56–84.
7. Страхов В.Н., Страхов А.В. Компьютерные технологии нахождения устойчивых приближенных решений систем линейных алгебраических уравнений с приближенно заданной правой частью // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Мат. 29-й сессии междунар. семинара им. Д.Г. Успенского, Екатеринбург, 28 января – 2 февраля 2002 г. В 2-х частях. Ч. 2. – М., 2002.
8. <http://www.hpcc.org.ua>
9. Сергієнко І., Коваль В. СКІТ – український суперкомп'ютерний проект // Вісн. НАНУ. – 2005. – № 5. – С. 3-13.
10. Страхов В.Н. Смена парадигмы в теории линейных некорректных задач. – М., 2000.
11. Страхов В.Н. Разрушение господствующего стереотипа мышления – главная задача в развитии теории и практики интерпретации потенциальных полей (гравитационных и магнитных аномалий) в начале XXI века. – М., 2000.

Надійшла до редколегії 25.12.08

ДЕЯКІ ПРОБЛЕМИ ОБЧИСЛЕННЯ ТРАНСФОРМАЦІЙ ГРАВІТАЦІЙНОГО ПОЛЯ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром фіз.-мат. наук, проф. М.А. Якимчуком)

Точні трансформації гравітаційного поля в регіональному масштабі забезпечує розв'язання нелінійної граничної задачі Алексідзе для потенціалу сили тяжіння. Її заміна на відповідну задачу для рівняння Лапласа генерує похибки, оцінки яких наведені в статті. Чисельне моделювання останньої задачі виявило, що точність її розв'язання істотно залежить від міри обумовленості задачі, наближень напрямку шуканого градієнта, параметрів чисельного методу та напрямку зовнішньої нормалі, уздовж якої обчислюють похідні.

An exact gravity transforms in regional studies is provided by the solution of nonlinear boundary Alexidze problem for the gravity potential. Its substitution by the appropriate problem for Laplace's equation generates an errors, estimated in the paper. The numerical modeling of the last problem has shown, that accuracy of its solution extremely depends on the problem's conditioning, approximations of required gradient direction, parameters of numerical calculus and direction of external normal, along which the proper derivatives are calculated.

Методи трансформацій. Результатом гравіметричних зйомок є набір значень модуля градієнта потенціалу u сили тяжіння (МГПСТ) $g|_S = \text{grad}u|_S = \psi(S)$ на деякій замкнутій денній поверхні S , яка цілком охоплює тяжіючі маси в області G пошуку трансформант. Задача його прямих трансформацій нетривіальна через невідомий напрям вектора $g|_S$, і не належить до лінійних граничних задач математичної фізики. При наближеному розв'язанні цієї задачі її граничні дані можна задавати на незамкнутій, але досить великій поверхні [1].

Загалом задачу трансформації значень гравітаційного поля слід вирішувати шляхом розв'язання граничної задачі безпосередньо для диференціального оператора $A(g)$ сили тяжіння в області задання $g|_S$. Взагалі нелінійне рівняння для сили тяжіння має вигляд [2]

$$A(g) = \Delta g(x_i) - a^2(g, x_i)g(x_i) = v(x_i), \quad x_i \in G, \quad i = \overline{1, 3}, \quad (1)$$

де $a^2(g, x_i) = \sum_{i=1}^3 \cos \alpha_i \Delta \cos \alpha_i = \sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^3 \left(\frac{\partial}{\partial x_i} \frac{g_j}{g} \right)^2$ – геометричний фактор поля тяжіння, $v(x_i) = -4\pi\gamma |\text{grad} \sigma(x_i)|$ – задана функція, пов'язана з розподілом мас, α_i – кут між напрямом вектора $g|_S$ та i -ї координатної осі. Це рівняння враховує напрям сили тяжіння і складне в практичній реалізації. Якщо вектор $g|_S$ у кожній точці простору спрямований в одну і ту ж точку $P(x_i^0)$, $i = \overline{1, 3}$ (уздовж нормалі до поверхні еліпсоїда), рівняння (1) спрощується [3]:

$$\Delta g(x_i) - 2g(x_i)/r^2 = v(x_i), \quad r = \sqrt{\sum_{i=1}^3 (x_i - x_i^0)^2}. \quad (2)$$

Один із практичних способів трансформації і перерахунку значень сили тяжіння – розв'язання граничної задачі безпосередньо для значень МГПСТ [4], інший – розв'язання нелінійної зовнішньої граничної задачі Алексідзе для потенціалу сили тяжіння:

$$\Delta u(x_i) = \begin{cases} -4\pi\gamma \sigma(x_i), & x \notin G, \\ 0, & x \in G, \end{cases} \quad u|_\infty = 0, \\ \text{grad}u|_S = \sqrt{\sum_{i=1}^3 \left(\frac{\partial u}{\partial x_i} \right)^2} \Big|_S = g|_S = \psi(S), \quad i = \overline{1, 3}. \quad (3)$$

Лінеаризує цю задачу припущення щодо напрямку МГПСТ на поверхні S , але воно вносить значні похибки, а визначення напрямку – не менш громіздка задача, ніж визначення МГПСТ. Зокрема, для зовнішньої тяжіючої точки отримано рівняння [3]

$$g \Delta \cos \alpha_i \sum_{i=1}^3 g_{x_i} \frac{\partial \cos \alpha_i}{\partial x_i} + \Delta g \cos \alpha_i = 0, \quad i = \overline{1, 3},$$

які визначають модуль сили тяжіння g за відомим розподілом кутів α_i в просторі G або косинуси кутів α_i за відомими значеннями g у просторі G (виникає невизначеність $\cos \alpha_i$ на ∞).

Питання розв'язності і єдиності задачі (3) принципове для гравіметрії: воно відповідає, чи можливе високоточне однозначне визначення сили тяжіння в зовнішньому просторі за високоточними абсолютними значеннями сили тяжіння на замкнутій поверхні S , яка цілком охоплює усі маси, і які потрібні мінімальні додаткові дані. За одночасного визначення на поверхні S абсолютних значень і напрямку сили тяжіння її обчислення в зовнішньому просторі нескладне, але такі роботи дорогі і в масових розвідувальних роботах не проводяться.

Розв'язують задачу (3) шляхом послідовних наближень. У плоскому випадку задача визначення гармонічної функції, модуль градієнта якої заданий на замкнутому контурі, не має єдиного розв'язку [3].

Якщо граничні значення $\psi(S)$ і функція u залежить від двох змінних, гранична задача (3) стає плоскою

$$\Delta u(x_i) = 0, \quad x_i \in G, \quad u|_\infty = 0, \\ \text{grad}u|_S = \sqrt{\sum_{i=1}^2 \left(\frac{\partial u}{\partial x_i} \right)^2} \Big|_S = \psi(S), \quad i = \overline{1, 2}. \quad (4)$$

Якщо $f(z) = u(x_i) + iv(x_i)$, $i = \overline{1, 2}$ – довільна голоморфна в G функція, реальна частина якої співпадає з розв'язком граничної задачі (2), її уявна частина теж є розв'язком задачі (4).

Співвідношення Коші-Рімана $k_1 \cdot k_2 = -1$, де $k_1 = \frac{\partial u}{\partial x_2} / \frac{\partial u}{\partial x_1}$ і $k_2 = \frac{\partial v}{\partial x_2} / \frac{\partial v}{\partial x_1}$ – кутові коефіцієнти прямих, спрямованих уздовж градієнтів функцій u і v , є умовою їх перпендикулярності.

Нехай у скінченному μ - околі напрямку l градієнта $\text{grad } U = \frac{\partial u}{\partial l}$ одного з розв'язків граничної задачі (4) не існує іншого розв'язку задачі (4), тобто, не існує двох розв'язків задачі (4), напрями градієнтів яких складали б менший за μ кут. Кут між градієнтами двох розв'язків задачі (4) – $\pi/2$, а розв'язки, що різняться між собою константою – тотожні.

Для перевірки цього припущення чисельно змодельовано методом розкладення за неортогональними функціями [5] граничну задачу (4) за допомогою збіжної ітераційного процесу

$$\Delta u^k(x_i) = 0, \sum_{i=1}^2 \alpha_i(u^{k-1}) \frac{\partial u}{\partial x_i} = \psi(S), i = \overline{1,2}, \quad (5)$$

де u^k – k -те наближення розв'язку граничної задачі (4), а коефіцієнти напрямних косинусів

$$\gamma_1 = \max_{x_i \in G} 2g(x_i)/r^2 \leq 2 \max_{x_i \in G} g(x_i) / \left[\min_{x_i \in G} r \right]^2 \approx \frac{2 \cdot 981000 \text{ мГл}}{6360^2 \text{ км}^2},$$

$$\gamma_2 = \min_{x_i \in G} 2g(x_i)/r^2 \leq 2 \min_{x_i \in G} g(x_i) / \left[\max_{x_i \in G} r \right]^2 \approx \frac{2 \cdot (978000 - 300a) \text{ мГл}}{(6380 + a)^2 \text{ км}^2},$$

звідки, згідно (6), одержуємо при $a = 100$ км – $76 \leq \varepsilon \leq 81$ мГал. При перерахунку сили тяжіння у вільному просторі за формулою Пуассона похибка може сягати 100 мГал на великих площах земної поверхні. У плоскому випадку при $x_i = 0, i = \overline{1,3}$ дає $51 \leq \varepsilon \leq 54$ мГал. За

(6), $\varepsilon = g - \bar{g} \leq 0$, тому дійсне значення сили тяжіння завжди *менше*, ніж одержане у припущенні її гармонічності. Порівняння похибок вказує, що рівняння сили тяжіння краще апроксимувати рівнянням (2), ніж Лапласа.

У практиці гравіметрії при перерахунку в зовнішній простір розв'язують не внутрішню граничну задачу, а зовнішню. Похибка перерахунку у зовнішньому просторі (заміну зовнішньої граничної задачі $\Delta g(x_i) - 2g(x_i)/r^2 = 0$ на зовнішню задачу $\Delta g_1(x_i) = 0$ за однакових граничних умов

$$g|_{r=a} = \psi(S), g|_{\infty} = 0) \text{ дорівнює } \varepsilon = \frac{c}{a} \left(\frac{a}{r^2} - \frac{1}{r} \right) \text{ і}$$

максимумальна за умови $\varepsilon|_{r=2a} = -g(a)/4$, де $g(a)$ – сила тяжіння на поверхні сферичної Землі. Припущення гармонічності сили тяжіння в перерахунку майже на висоту земного радіуса (6000 км) дає похибку ~ 245 Гал.

Отже, для трансформації спостереженого (і нормального) поля сили тяжіння у зовнішньому просторі слід розв'язати [5] граничну задачу для рівняння сили тяжіння (2), конкретні оператори якого для різних референц-поверхонь [4] земного еліпсоїда обертання з малим стисненням не генерують істотно різних результатів поблизу Землі. Явні аналітичні вирази фундаментальних розв'язків рівняння (2) отримано в [6].

Похибки аномалій. Перерахунок "аномалії" сили тяжіння $\delta g = g(S) - \gamma(S)$ (різниці нормального і спостереженого поля сили тяжіння) має свої нюанси.

Через векторну природу δg обчислене аномальне поле відрізнятиметься від істинної величини аномалії сили тяжіння (рис. 1).

$$\alpha_i(u^{k-1}) = \frac{\partial u^{k-1}}{\partial x_i} / \sqrt{\sum_{i=1}^2 \left(\frac{\partial u^{k-1}}{\partial x_i} \right)^2} \text{ отримані з нормування граничних умов задачі (4).}$$

Похибки трансформацій. Похибка ε заміни рівняння (2) на рівняння Лапласа $\Delta g(x_i) = 0$ на сфері G радіуса a з початком координат у її центрі, в точці $x_i = 0, i = \overline{1,3}$ дорівнює

$$a^2 \gamma_2 / 6 \leq \varepsilon \leq a^2 \gamma_1 / 6 \quad (6)$$

де за умови, що область G дотична до поверхні Землі, нормальне гравітаційне поле:

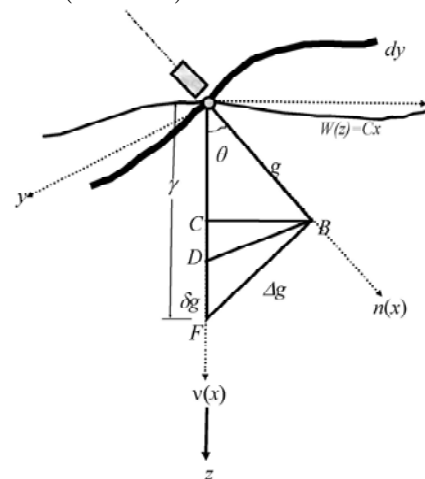


Рис. 1. Геометричне тлумачення аномалій

$|\overrightarrow{BF}| = |\vec{\gamma} - \vec{g}| = \sqrt{|\vec{\gamma}|^2 + |\vec{g}|^2 - 2|\vec{g}||\vec{\gamma}| \cos \alpha}$, де α – кут між нормальним $\overrightarrow{OE} = \vec{\gamma}$ і виміряним $\overrightarrow{OB} = \vec{g}$ вектором сили тяжіння, CF – проекція вектора аномалії $\overrightarrow{BF}$ на напрям $\vec{\gamma}$, $FD = |\vec{\gamma}| - |\vec{g}|$ – звичайне значення аномалії, CD – його відхилення від проекції аномалії. Підставивши замість $|\vec{g}|$ $|\vec{\gamma}| - FD$, маємо $|\overrightarrow{BF}| = \sqrt{2}|\vec{\gamma}| \sqrt{1 - \frac{FD}{|\vec{\gamma}|} + \frac{FD^2}{2|\vec{\gamma}|^2} - \cos \alpha} + \frac{FD}{|\vec{\gamma}|} \cos \alpha$. І за $FD = 0$ ($|\vec{\gamma}| - |\vec{g}| = 0$) аномалія сили тяжіння може бути значною, оскільки $|\overrightarrow{BF}| = 2|\vec{\gamma}| \sin \alpha / 2$, і при $\alpha = 15''$ $|\overrightarrow{BF}| \approx 70$ мГал. На цю величину можуть відрізнятися звичайні аномалії сили тяжіння $|\vec{\gamma}| - |\vec{g}|$ від точних.

Якщо б значення $|\vec{y}| - |\vec{g}|$ давали високоточну аномалію сили тяжіння, її неможливо перерахувати у зовнішньому просторі: рівняння сили тяжіння істотно залежить від швидкості зміни кутів між напрямом сили тяжіння (аномалії) і координатними осями. В локальних аномаліях цей напрям може сильно варіювати і будь-яке наближене припущення щодо нього істотно спотворює перераховані аномалії. Вираз $|\vec{y}| - |\vec{g}|$ з точністю $CD = 2|g|\sin^2 \alpha/2$ співпадає з проекцією вектора аномалії на напрям вектора $\vec{y}$ (за Юнгом); при $\alpha = 15^\circ$ $CD = 2 \cdot 10^{-3}$ мГал.

У потенціалі W аномальних мас, які генерують аномалію сили тяжіння, його частинні похідні в будь-якому напрямі співпадають з проекціями аномалій сили тяжіння за цим напрямом, $|\vec{y}| - |\vec{g}| = \partial W / \partial x_3$, де x_3 – спрямоване за напрямом вектора $\vec{y}$. На площах у кількадесят км зміною напрямку $\vec{y}$ нехтують, і аномалія $|\vec{y}| - |\vec{g}|$ майже гармонічна. З точністю $0 \leq \varepsilon \leq 0,04$ мГал аномалії сили тяжіння на рівнині є значеннями вертикальної складової за напрямом модуля градієнта.

Перерахунок у нижній півпростір з відомою густиною $\sigma(P)$ в рівнянні (2) нескладний. Але в практиці регіональної гравіметрії при перерахунку у бік мас нерідко на поверхні S відомі складові $\partial W / \partial x_3$ аномалії, а під

поверхнею аномальні маси розташовані на невідомій віддалі від неї і слід гармонічно продовжити $\partial W / \partial x_3$ у бік аномальних мас до найближчих особливих точок поля. У такій постановці ця задача – істотно некоректна (має нескінченну множину розв'язків [4]).

Чисельне моделювання. Чисельне розв'язання нелінійної граничної задачі (3) у просторовому випадку здійснене за ітераційним процесом

$$\Delta u_n = 0, \left[\sum_{i=1}^3 \alpha_i(u_{n-1}) \frac{\partial u_n}{\partial x_i} \right]_S = \psi^2(S), \quad (7)$$

де u_n і u_{n-1} – n -е і $(n-1)$ -е наближення, $\alpha_i(u_{n-1})$ – i -й спрямовуючий косинус градієнта $(n-1)$ -го наближення u_{n-1} . З метою перевірки збіжності ітераційного процесу (10) розв'язано зовнішні граничні задачі

$$\Delta u = 0, \quad |\text{gradu}|_S = \frac{h}{x_1^2 + x_2^2 + x_3^2} \quad (8)$$

$$\Delta u = 0, \quad |\text{gradu}|_S = \frac{h}{(x_1 - h)^2 + x_2^2 + x_3^2} + \frac{h}{(x_1 + h)^2 + x_2^2 + x_3^2} \quad (9)$$

$$\Delta u = 0,$$

$$|\text{gradu}|_S = h \sqrt{\frac{2(x_1^2 + x_2^2 + 3x_3^2)}{((x_1 - h)^2 + x_2^2 + x_3^2)((x_1 + h)^2 + x_2^2 + x_3^2)}} + \sqrt{\frac{(x_1^2 + x_2^2 - 2hx_1 + x_3^2)}{((x_1 - h)^2 + x_2^2 + x_3^2)^3}} + \frac{(x_1^2 + x_2^2 - 2hx_1 + x_3^2)}{((x_1 + h)^2 + x_2^2 + x_3^2)^3} \quad (10)$$

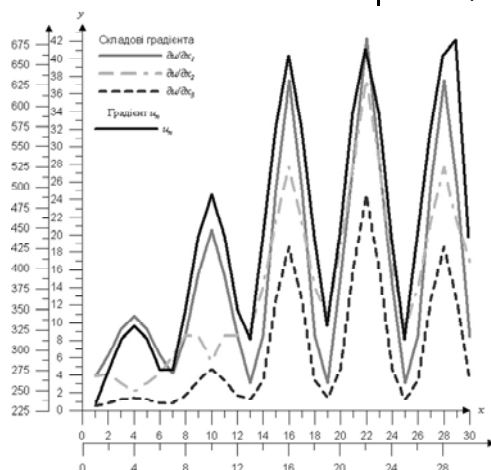
де $h = 10$, $x_3 = 5$ км, S – горизонтальна площина. Точний розв'язок граничних задач (8) і (10) дорівнює

$$u = \frac{h}{\sqrt{x_1^2 + x_2^2 + x_3^2}} \quad \text{і} \quad u = \frac{h}{\sqrt{(x_1 - h)^2 + x_2^2 + x_3^2}} + \frac{h}{\sqrt{(x_1 + h)^2 + x_2^2 + x_3^2}},$$

а (9) точного розв'язку не має. На рис. 2 наведені точні значення градієнта u_n і похідних задачі (8) у 30 точках рівномірної мережі поверхні S з кроком $\Delta x_i = 10$ км на в області $-25 \text{ км} \leq x_2 \leq 25 \text{ км}$, $-25 \text{ км} \leq x_1 \leq 15 \text{ км}$ при грубих наближеннях напрямних косинусів – $\alpha_1(u_1) = \alpha_2(u_1) = 0$, $\alpha_3(u_1) = 1$. У іншому варіанті розв'язку $\alpha_1(u_1) = 0.8$, $\alpha_2(u_1) = 0$, $\alpha_3(u_1) = 0.6$. Як видно

з фрагменту таблиці, градієнт u_n і права частини граничної умови (8) співпали з точністю $\varepsilon = 10^{-6}$ за 5 ітерацій у першому варіанті і за 6 – у другому. Модулі градієнтів точного і наближеного співпали з точністю 10^{-7} .

Кожну з граничних задач розв'язували для різних перших наближень і положень допоміжних точок [5], що визначають фундаментальні розв'язки. Рис. 2 відповідає випадку, коли допоміжні точки взяті на площині $x_3 = 1$. Число ітерацій у варіантах не перевищувало 10. Хоча граничні значення точних і наближених градієнтів співпали з точністю $\varepsilon = 10^{-7}$, вони самі співпали з меншою точністю через погану обумовленість взагалі задач з похідними в граничних умовах (для них, на відміну від задачі Діріхле, не діє принцип максимуму) і це слід врахувати в практичному моделюванні.



№	U_n	$\frac{\partial U_n}{\partial x_1}$	$\frac{\partial U_n}{\partial x_2}$	$\frac{\partial U_n}{\partial x_3}$
1	234,561	3,875	3,876	0,518
2	275,455	6,281	4,188	0,839
3	313,623	9,262	3,087	1,236
4	330,394	10,819	2,202	1,442
5	313,686	9,262	3,086	1,234
6	275,596	6,283	4,191	0,837
7	275,607	4,190	6,282	0,837
8	350,166	8,581	8,581	1,713
9	440,122	15,497	8,533	3,412
10	490,258	20,553	5,588	4,712
11	440,203	15,269	8,533	3,412

Рис. 2. Розв'язання зовнішньої граничної задачі Алексідзе (8) і фрагмент відповідної таблиці даних, $\times 10^3$

Точка $x_1 = x_2 = x_3 = 0$, яка створює поле у задачі (11), є однією з допоміжних точок [5], що визначають фундаментальні розв'язки. Це пояснює чималу точність визначення похідних $\partial u / \partial x_i$ за наближеним значенням розв'язку. Якщо ця точка не входить до складу допоміжних точок, точність визначення похідних гірша, особливо для $\partial u / \partial x_3$.

У дослідженні похибки розв'язку граничної задачі (8) задіяно 36 фундаментальних розв'язків, рівномірно розташованих на площині $x_3 = 1$, межею S є площина $x_3 = 5$. Ліва і права частина граничних умов (8) після 4-ї ітерації співпали з точністю $\varepsilon = 10^{-6}$, відносна похибка розв'язку u сягла 10 %, абсолютна – 10^{-1} ; для похідних – похибки сягають 80 %. Збільшення числа функцій до 49 знизило похибку розв'язку u і похідних до 3-5 %, і $\partial u / \partial x_3$ – до 20 %. Дальше нарощення до 64 збільшило похибку розв'язку і похідних до 70%, хоча права і ліва частини граничної умови (8) після 8 ітерацій співпали з точністю $\varepsilon = 10^{-6}$. Цей ефект пояснюють [4] неминимальністю систем фундаментальних розв'язків і малістю детермінанта матриці коефіцієнтів для фундаментальних розв'язків.

Коли напрям градієнта на всій границі S складає з внутрішньою нормаллю *гострий кут*, зовнішня гранична задача (3) розв'язується із задовільною точністю і похибка зумовлена не поганою збіжністю ітерацій (14) (число ітерацій мале), а поганою обумовленістю граничної задачі з косою похідною.

Гранична задача з косою похідною уздовж напрямку l

$$\Delta u = 0, \quad \frac{\partial u}{\partial l} \Big|_S = \psi(S) \quad (11)$$

за умови, що напрям зовнішньої нормалі N *неортогональний* напрямку l (l в жодній точці границі G не співпадає з дотичною)

$$\inf_{x_2 \in S} (N, l) > 0 \quad (12)$$

не має відмінного від сталого розв'язку [8]. У граничних задачах (8-10) ця умова виконується на будь-якій скін-

ченній частині площини S , оскільки поле створене точковим джерелом, а на всій нескінченній площині – ні, оскільки в нескінченно віддаленій точці площини S $(N, l) \Big|_{x_2=\infty} = 0$. Для внутрішньої граничної задачі (11) і

точкового джерела P поза областю G умова (12) для достатньо гладкої границі *не виконується*, оскільки завжди існуватиме точка на S , в якій радіус-вектор з початком в P ортогональний до нормалі. Чисельні експерименти на сфері G виявляють погану обумовленість граничної задачі (11): граничні умови задовольняються добре, а обчислені і точні значення градієнту u і його похідних – *істотно різні*.

Розв'язок внутрішньої граничної задачі (8) для одиничного куба G (зовнішня нормаль має 6 різних напрямів, початок координат (0,0,0) – на відстані 0,2 від нижньої кромки куба, 24 допоміжні точки узяті на кубі зі стороною 1,4) за (10) при

$\alpha_1(u_1) = \alpha_2(u_1) = 0, \alpha_3(u_1) = 1$ такий: після 5-ї ітерації

граничні значення задовольнялися ($\varepsilon < 1\%$), а наближення u і його похідні не мали спільного з точним роз-

в'язком $U = h / \sqrt{x_1^2 + x_2^2 + x_3^2}$ і його похідними; нарощення числа ітерацій до 24 не збільшило точність на-

ближень. У табл. 1 у 4-х точках границі, що є точками коллокації, дані точні і наближені значення градієнта і похідних. У решті точок значення функції через симетрію співпадають з одним з наведених в табл. 2. Додали 25-й фундаментальний розв'язок, який співпадає з точним розв'язком задачі (8). Після 4-ї ітерації граничні умови та значення розв'язку і похідних задовольнялися з точністю $\varepsilon = 10^{-3}$. Щоб розділити вплив нестійкості граничної задачі (11) на сумарну похибку розв'язку задачі (8), вирішено задачу (11) для функції

$U = h / \sqrt{x_1^2 + x_2^2 + x_3^2}$. Останні стовпці табл. 1 дають її

розв'язок $\bar{u}$ у тих же точках: похибка зумовлена нестійкістю задачі (14), а не повільною збіжністю ітерацій (7).

Таблиця 1. Розв'язок внутрішньої граничної задачі (8) та задачі з косою похідною (11) для одиничного куба

№	u	$\frac{\partial u}{\partial x_1}$	$\frac{\partial u}{\partial x_2}$	$\frac{\partial u}{\partial x_3}$	u_n	$\frac{\partial u_n}{\partial x_1}$	$\frac{\partial u_n}{\partial x_2}$	$\frac{\partial u_n}{\partial x_3}$	$\bar{u}$	$\frac{\partial \bar{u}}{\partial x_1}$	$\frac{\partial \bar{u}}{\partial x_2}$	$\frac{\partial \bar{u}}{\partial x_3}$
1	21	29	29	19	39	4	4	45	30	10	10	78
2	8	1	1	1	28	0	0	8	12	1	1	5
3	14	14	8	11	36	18	2	8	19	11	6	18
4	9	3	2	6	30	18	0	8	13	1	2	8

Збіжність ітерацій (5) для плоского випадку має особливості: розв'язок зовнішньої граничної задачі (4) з граничною умовою $\psi(S) = 1 / \sqrt{x_1^2 + x_2^2} \Big|_S \equiv 1$ і точним

розв'язком $u = \ln \sqrt{x_1^2 + x_2^2}$ для одиничного круга з центром в початку координат з напрямками $\alpha_1^0 = \cos(t + \varphi)$, $\alpha_1^0 = \sin(t + \varphi)$ (t – центральний кут, φ – збурення початкового напрямку градієнта шуканої функції) має похибки, що залежать від положення точок ітерації. У табл. 2 дано кількість ітерацій N до умови їх

зупинки $|\varepsilon_1| = \left| \text{grad} u^{(k)} - 1 \right| < 10^{-5}$, максимальні похибки розв'язків після кожної ітерації у точках коллокації для похідних – $\varepsilon_1 < 10^{-4}$, а посередині між точками коллокації в кінцевому розв'язку $\varepsilon_2 \approx 10^{-4}$, де

$$\varepsilon_{1,2} \left(\frac{\partial u}{\partial x_i} \right) = \max \left| \frac{\partial u^{(1,2)}}{\partial x_i} - \frac{\partial u}{\partial x_i} \right|.$$

Таблиця 2. Параметри розв'язку плоскої зовнішньої граничної задачі (4) для одиничного круга

φ	0,001	0,1	0,1	1	1	1,57	1,57	3,14
N	1	2	3	2	3	2	3	1
$\varepsilon_1(\text{gradi})$	3×10^{-6}	5×10^{-3}	4×10^{-6}	$8,5 \times 10^{-1}$	5×10^{-6}	$9,98 \times 10^{-1}$	6×10^{-5}	4×10^{-6}

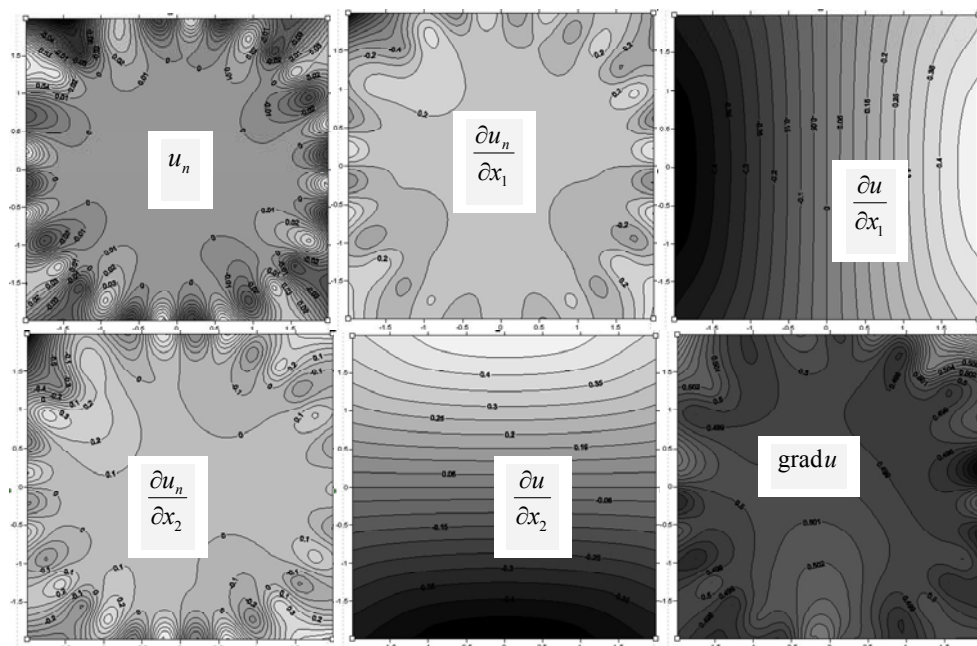
Розв'язок внутрішньої граничної задачі за сприятливих умов визначається з точністю до сталої (тому не порівнюємо точний і наближений розв'язки) і знаку (при $\varphi = \pi$ 1-ша ітерація задовольняє граничній задачі).

Для тієї ж задачі (4) при радіусі кола $r = 2$ узяті числа $\alpha_1^0 = \alpha_2^0 = \sqrt{2}/2$ (напрямок градієнта співпав з прямою $x_1 = x_2$). Цей напрям у точках $\left(\frac{\sqrt{2}}{2}, -\frac{\sqrt{2}}{2}\right)$ і

$\left(-\frac{\sqrt{2}}{2}, \frac{\sqrt{2}}{2}\right)$ кола утворює з нормаллю кут 90° , тому

не виконується умова (12). Точний розв'язок цієї задачі $u = 0.693$, а значення граничної умови $\psi(S) = 0,5$. Рис.

3 ілюструє розв'язок задачі (4) (9 ітерацій, x_1, x_2 – координати граничних точок коллокації). Градієнти наближеного і точного розв'язку близькі, самі розв'язки і їхні похідні *істотно різні*, оскільки наближення $\alpha_1^0 = \alpha_2^0 = \sqrt{2}/2$ не забезпечує умови (12).

Рис. 3. Розв'язок зовнішньої граничної задачі (4) для круга з $r = 2$ при $\alpha_1^0 = \alpha_2^0 = \sqrt{2}/2$

Отже, для збіжності ітерацій (5) необхідно не лише, щоб *точний розв'язок задовольняв умові* (12), а і вибір початкових наближень, для яких в ітераціях (5) *не виникали б коефіцієнти* α_i^k , які не забезпечують умови (12).

Розв'язання *внутрішньої* граничної задачі для одиничного круга з центром в початку координат і граничною умовою $\psi(S) = 1/\sqrt{(x_1 - 1)^2 + (x_2 - 1)^2}$ за ітераціями (5) здійснено за напрямом градієнта $\alpha_1^0 = 0.8315$, $\alpha_2^0 = 0.5556$, що, як і будь-який постійний напрям, не забезпечує виконання умови (12). Рис. 3 ілюструє на-

ближений розв'язок задачі після 8 ітерацій. Точний розв'язок $u = \ln \sqrt{(x_1 - 1)^2 + (x_2 - 1)^2}$, але комплексно-спряжена ($\omega = u + iv$ – голоморфна функція) з ним функція v завдяки відношенню Коші-Рімана теж задовольняє цій задачі. За цих α_i^0 ітерації (5) збігаються не до точного розв'язку u , а комплексно-спряженої функції v , що особливо видно на прикладі горизонтальних похідних (рис. 4).

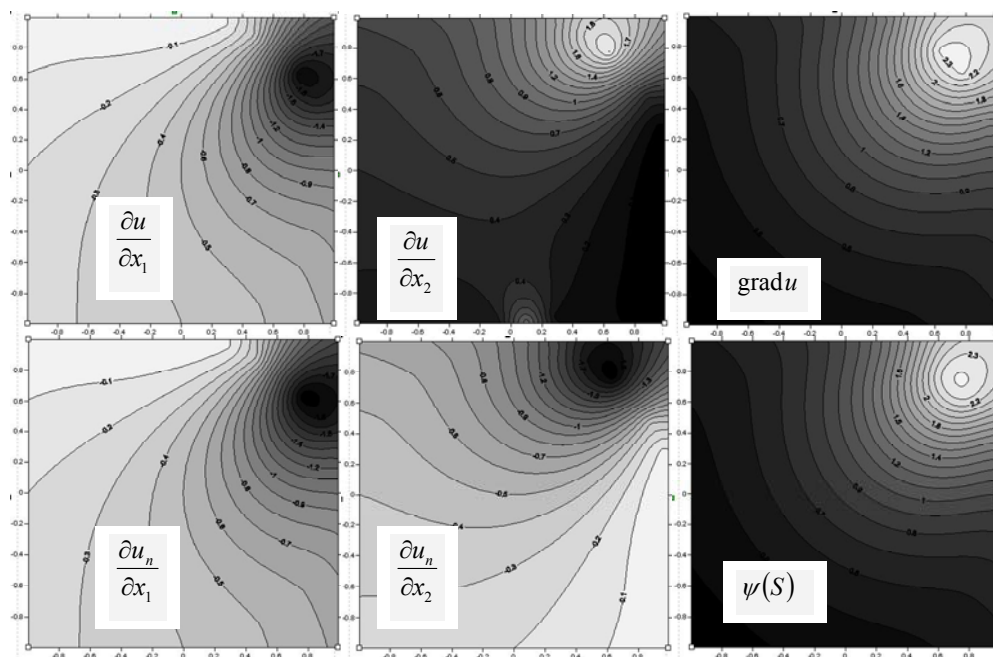


Рис. 4. Розв'язок внутрішньої граничної задачі (4) для одиничного круга

Моделювання аномалій. На практиці відшуковують не потенціал $w = u + v$ сили тяжіння, а потенціал u аномалії сили тяжіння, де потенціал нормальної сили тяжіння v вважають *відомим*. За *лінійних* наближень граничних задач граві- і магнітометрії цей перехід до аномалії *не змінює* не лише рівняння, а і вигляд оператора граничних умов, необхідно лише за граничну функцію $\psi(S)$ узяти аномалію сили тяжіння.

У нелінійних граничних задачах перехід до аномалії *змінює ліву частину* граничних умов (3, 4), так як операція обчислення модуля градієнта не дистрибутивна: $|\text{grad}w| \neq |\text{grad}u| + |\text{grad}v|$. Якщо гранична функція $\psi(S)$ – модуль градієнта потенціалу w сили тяжіння, для потенціалу аномалії u одержуємо нелінійну граничну задачу:

$$\Delta u = 0,$$

$$\sum_{i=1}^3 \left(\frac{\partial u}{\partial x_i} \right)^2 + 2 \sum_{i=1}^3 \left(\frac{\partial v}{\partial x_i} \frac{\partial u}{\partial x_i} \right) = \psi^2(S) - |\text{grad}v|^2, \quad u_\infty = v_\infty \quad (13)$$

граничні значення якої за нульового потенціалу нормальної сили тяжіння співпадають з граничними умовами (3). Для розв'язання цієї задачі задіяно один з варіантів таких послідовних наближень (умови на ∞ опущені):

$$\Delta u_{n+1} = 0, \quad \left. \frac{\sum_{i=1}^3 \left(2 \frac{\partial v}{\partial x_i} + \frac{\partial u_n}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_{n+1}}{\partial x_i}}{|\text{grad}(v + u_n)|} \right|_S = \psi(S) - \frac{|\text{grad}v|^2}{\psi(S)},$$

$$\Delta u_{n+1} = 0,$$

$$\left. \frac{\sum_{i=1}^3 \left(2 \frac{\partial v}{\partial x_i} + \frac{\partial u_n}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_{n+1}}{\partial x_i}}{\psi(S)} \right|_S = \psi(S) - \frac{|\text{grad}v|^2}{\psi(S)}, \quad (14)$$

$$\Delta u_{n+1} = 0, \quad \sum_{i=1}^3 \left(2 \frac{\partial v}{\partial x_i} + \frac{\partial u_n}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_{n+1}}{\partial x_i} \Big|_S = \psi^2(S) - |\text{grad}v|^2.$$

З'ясування чисельної швидкості збіжності ітерацій (14) має практичний інтерес, бо на кожній ітерації розв'язується гранична задача і слабкозбіжні процеси істотно погіршують практичну експлуатацію алгоритмів.

Збіжність (14) обчислено методом [4] на границі S у вигляді площини $x_3 = 5$ на моделі

$$U = \frac{h}{\sqrt{x_1^2 + x_2^2 + x_3^2}}, \quad V = \frac{1}{\sqrt{x_1^2 + x_2^2 + (x_3 + h)^2}},$$

$$\psi(S) = |\text{grad}(U + V)|$$

на 36 вузлах коллокації в точках $(x_1 = -25+10k, x_2 = -25+10j, x_3 = 5, k, j = 1, 2, 3, 4, 5)$ границі S для 36 фундаментальних розв'язків, полюси яких є під вузлами коллокації на площині $x_3 = 1$. Ітерації тривали до виконання умови $\max_S |\text{grad}(v + u_n) - \psi(S)| < \varepsilon$. При $\varepsilon = 10^{-3}$

1-й ітераційний процес завершився за 3 ітерації, другий – за 36, а останній – за 103 ітерації, а при $\varepsilon = 10^{-4}$ – за 4, 79 і 147 відповідно.

Для першої з ітерацій (14) розв'язана гранична задача з похідною уздовж x_3 на границі. Допоміжні точки для фундаментальних розв'язків узяті на площині $x_3 = 1$. Наближення розв'язку і його похідних добре співпадають між собою (при $\varepsilon = 10^{-3}$ з точністю 10^{-2} , при $\varepsilon = 10^{-4}$ з точністю 10^{-3}), але далекі від точних. У табл. 3 дані їх середньоквадратичні значення у вузлах коллокації (1-й стовпець) і у середині між ними (2-й стовпець), а в табл. 4 – відповідні похибки для різних $\varepsilon = 10^{-k}$ ($k = 1, 2, \dots, 5$) і N .

Таблиця 3. Наближені розв'язки нелінійної граничної задачі (14) на площині

N	u		$\partial u / \partial x_1$		$\partial u / \partial x_2$		$\partial u / \partial x_3$	
36	0.565	0.598	0.029	0.021	0.029	0.021	0.026	0.067
64	0.605	0.611	0.032	0.028	0.032	0.028	0.038	0.053
120	0.616	0.614	0.030	0.032	0.030	0.032	0.047	0.044

Таблиця 4. Похибки розв'язків нелінійної граничної задачі (14) на площині при різних рівнях точності

k	$\varepsilon(u)$		$\varepsilon(\partial u / \partial x_1)$		$\varepsilon(\partial u / \partial x_2)$		$\varepsilon(\partial u / \partial x_3)$		N
1	0.206	0.025	0.019	0.007	0.019	0.007	0.025	0.056	36
3	0.048	0.172	0.019	0.006	0.019	0.006	0.018	0.057	
5	0.050	0.173	0.019	0.006	0.019	0.006	0.018	0.057	
1	0.492	0.479	0.017	0.010	0.017	0.010	0.026	0.033	64
3	0.018	0.066	0.013	0.004	0.013	0.004	0.011	0.030	
1	0.647	0.613	0.013	0.013	0.013	0.013	0.026	0.023	121
2	0.028	0.027	0.001	0.001	0.001	0.001	0.003	0.003	
4	0.005	0.007	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	

За табл. 4 виявлено, що збільшення точності апроксимації граничних умов у вузлових точках коллокації без збільшення кількості вузлових точок (і, отже, збільшення числа функцій, що беруть участь у розкладанні) не впливає на похибку (починаючи з $k = 2$). Ці обставини виявляють нелінійну поведінку похибок чисельного розв'язання граничних задач з похідними і спонукають досліджувати похибки розв'язків кожної конкретної задачі.

Висновки. Трансформацію значень поля сили тяжіння у зовнішньому просторі можна здійснити через розв'язання граничної задачі (3) для рівняння сили тяжіння (2), конкретний вигляд якого залежить від обраної моделі Землі. У плоскому випадку ця операція зведена до розв'язання граничної задачі (4) з ітерацій (5). Точність її розв'язання істотно залежить від міри обумовленості задачі, наближень напряму шуканого градієнта, параметрів чисельного методу [5] (числа і положення фундаментальних розв'язків), та напряму зовнішньої

нормалі, уздовж якої обчислюють похідні в граничних умовах (виконання умови (12)). Попри це, її розв'язання на простих моделях за певних обмежень – успішне.

Основними джерелами неоднозначності розв'язків задачі є скінченна вертикальна роздільна здатність розв'язку, неадекватний вибір моделі задачі чи початкових наближень розв'язку.

1. Алексидзе М.А. Редукция силы тяжести. – 1965. 2. Черный А.В. Об уравнении силы тяжести // ДАН УССР. – Сер. Б. – 1970. – С. 145-149.
3. Алексидзе М.А., Гелашвили М.С., Картвелишвили К.М. Исследование некоторых вопросов трансформации потенциальных полей. – 1972;
4. Алексидзе М.А. Решение некоторых основных задач гравиметрии. – 1985;
5. Алексидзе М.А. Решение граничных задач методом разложения по неортогональным функциям. – 1978;
6. Черный А.В. Описание гравитационных аномалий // Докл. АН УССР. Сер. Б. – 1982, № 4. – С. 18-21.
7. Бицадзе А.В. Краевые задачи для эллиптических уравнений второго порядка. – 1966.
8. Интерпретация гравитационных и магнитных полей: Сб. науч. тр. / Отв. ред. Старостенко В.И. К. – 1992.

Надійшла до редколегії 25.11.09

УДК 551.3:550.83

В. Онищук, асп., М. Рева, канд. фіз.-мат. наук, Д. Онищук, студ.

ЕКОГЕОФІЗИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОГЕННОГО ЗАБРУДНЕННЯ В РАЙОНІ СКЛАДУ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ

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

Розглядаються особливості методики геофізичних досліджень при вивченні техногенного забруднення геологічного середовища. Наведені геоелектричні параметри різних типів порід верхньої частини розрізу однієї із ділянок у залежності від інтенсивності забруднення.

The features of geophysical prospecting methods for studying of geological environment technogenic pollution are shown. The geoelectrical parameters of various types of rocks of profile's upper part are revealed with regarding of pollution intensity.

Вступ. На сьогоднішній день у світовій господарській діяльності і зокрема в Україні загострюються проблеми, що пов'язані з екологічно небезпечними галузями промисловості. Найбільші підприємства були створені переважно у ХХ столітті без урахування, або з порушенням вимог охорони довкілля, що спричинило суттєвий техногенний вплив на значних територіях і, відповідно, погіршення умов життя населення. На сучасному етапі розвитку нагальною поставила задача вивчення техногенного забруднення довкілля. Оцінка і моніторинг геоекологічного стану довкілля можуть успішно вирішуватись за допомогою комплексу геофізичних методів [1]. Ефективність використання геофізичної інформації при розв'язанні геоекологічних задач визначається, насамперед, різноманітністю фізичних полів, що об'єктивно відбивають стан природного середовища [2]. Це пов'язано з тим, що зміни навколишнього природного середовища викликають досить суттєві зміни геофізичних полів. Слід відзначити універсальність геофізичної інформації, яка дає можливість визначати геометрію і властивості геологічних та техногенних тіл, а також їх

зміни з плином часу. Це дозволяє, зокрема, оцінювати ступінь напруженого стану масивів гірських порід та ґрунтових товщ, спостерігати за коливаннями вологості і мінералізації (засолення, геохімічне забруднення) та отримувати надійні геофізичні параметри для їх оцінки. Суттєве значення має також можливість безпосередньої характеристики різних складових геофізичних полів.

Техногенне речовинне (або хімічне, точніше геохімічне) забруднення навколишнього середовища, що включає геологічне середовище з підземними водами і навколоземну частину атмосфери, стосується понад 10 % земної суші. Воно утворюється за рахунок [1]:

- відвалів гірських порід поблизу шахт, копалень, де складаються супутні продукти після вилучення корисних руд;
- відходів крупних промислових і будівельних підприємств та міських агломерацій (шламонакопичувачі, відстійники, звалища, смітники);
- поховань радіоактивних відходів, а також радіоактивно забруднених матеріалів внаслідок аварій і катастроф на ядерних об'єктах;

© Онищук В., Рева М., Онищук Д., 2010

– втрат нафтопродуктів на нафтогазових промислах і нафтоперегінних заводах, з магістральних нафтопроводів, на станціях, що перекачують нафту і газ, нафтосховищах, складах паливно-мастильних матеріалів, автозаправних станціях, аеродромах [1];

– сільськогосподарської діяльності (засолення ґрунтів, внесення мінеральних добрив і отрутохімікатів, втрати хімічних речовин при зберіганні) та інших джерел.

Техногенне речовинне забруднення призводить до змін фізичних властивостей ґрунтів та порід верхньої частини геологічного розрізу.

Вибір геофізичних методів досліджень техногенного забруднення залежить від геолого-геофізичних умов об'єктів вивчення. В загальному комплекс геофізичних методів при геоекологічних дослідженнях включає дистанційні (аерокосмогеофізичні) методи, електрометричні, радіометричні, газометричні (визначення концентрації Rn, Hg, CO₂, CH₄, аерозолів тощо), термометричні, сейсмометричні, магнітометричні польові методи та каротажні дослідження. Раціональний комплекс екогеофізичних методів визначається конкретними задачами, природними умовами території досліджень, видом та інтенсивністю техногенного забруднення [0].

Результати екогеофізичних досліджень. В статті наводиться приклад успішного застосування комплексних екогеофізичних досліджень для вивчення техногенного забруднення на території складу мінеральних добрив (с. Аркадіївка Київської області).

Основний метод досліджень, що проводилися, – мікроелектрозондування, який є модифікацією метода ВЕЗ. Модифікація МЕЗ досить ефективна при вирішенні геоекологічних задач і дозволяє здійснити об'ємне, погоризонтне розчленування верхньої частини розрізу, отримати важливу інформацію про особливості геоелектричного розрізу, а також визначити геометричні параметри та питомі електричні опори шарів і об'єктів.

Склад мінеральних добрив, що розташований на північно-західній околиці с. Аркадіївка, характеризується дуже інтенсивним локальним забрудненням природного середовища, що створює аномалію високої електричної провідності.

Високе положення рівня ґрунтових вод (РГВ), що в пониженнях рельєфу місцями складає до 0,5 м, відсутність каналізації, незахищеність від багаторічної інфільтрації та міграції розмитих добрив і продуктів господарської діяльності – всі ці фактори обумовлюють техногенне забруднення та зміни геологічного середовища.

На карті (рис. 1) забруднення порід зони аерації (коефіцієнт С визначає процентний вміст солей) оконтурені різноманітні за розмірами і конфігурацією аномалії. Фоновий вміст солей, що відповідає незмінним та незасоленим породам, складає до 0,1 – 0,12 %. Поряд із слабоінтенсивними аномаліями (С складає 0,15 – 0,20 %) виявлені і локальні аномалії з підвищеними значеннями параметру С – до 0,33 – 0,36 %. Ці аномалії співпадають з областями інтенсивного забруднення підземних вод (рис. 2).

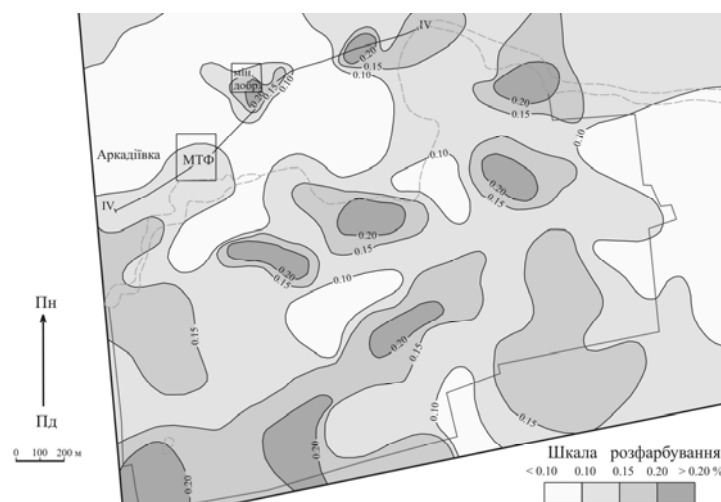


Рис. 1. Карта техногенного забруднення (С, %) порід зони аерації. Аркадіївська ділянка

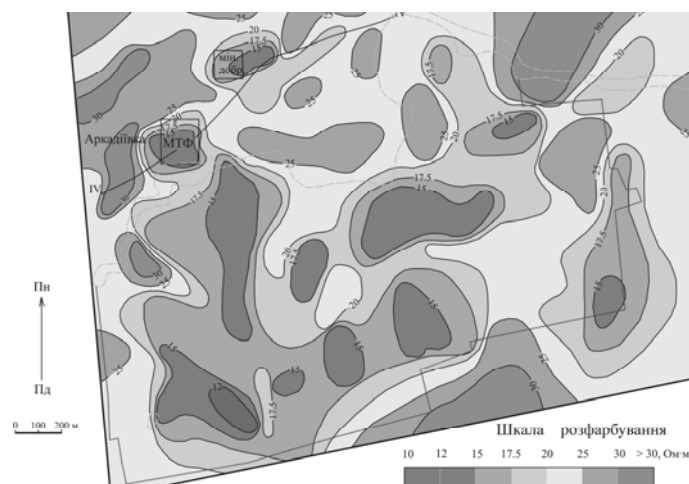


Рис. 2. Карта питомого електричного опору (техногенного забруднення) горизонту ґрунтових вод. Аркадіївська ділянка

Дані хімічних водних проб, відібраних з криниць, показали, що ґрунтова вода відрізняється підвищеною і високою мінералізацією (1 – 2,52 г/л і більше), що перевищує фонову в декілька раз; підвищеною жорсткістю (7 – 20 мг-екв/л); великими вмістами кальцію і натрію. У водних пробах встановлені також органічні сполуки (в мг/л), вміст яких вище фонових:

– хлорорганічних пестицидів (сума ДДТ і його метаболітів) – 0,0020 – 0,0027 в чотирьох криницях і 0,083 в одній криниці (№164) при ГДК 0,002;

– фенолів 0,0018 – 0,0088;

– нафтопродуктів 0,6 – 5,0 в чотирьох криницях, при ГДК 0,3;

На складеній за комплексними геолого-геофізичними даними карті питомого електричного опору (техногенного забруднення) горизонту ґрунтових вод (рис.2) виділені і охарактеризовані різновиди водонасичених моренних суглинків та відповідні їм геоелектричні поля (аномалії). Найбільш розповсюджені на ділянці водонасичені моренні суглинки забруднені і сильно забруднені, мінералізація ґрунтових вод в яких відповідно 1,69 – 0,95 г/л і 2,64 – 1,69 г/л (місцями і більше). Вони фіксуються мінімумами питомого електричного опору

(15 – 20 Ом·м), місцями – 12 – 15 Ом·м та менше. Локальне розповсюдження мають ґрунти перезволожені, змінені і сильно засолені (забруднені), внаслідок розмиву складу хімдобив, значення питомого електричного опору яких становить 0,4 – 2,2 Ом·м. Для порівняння, фонові значення мінералізації ґрунтових вод в даному районі складають 0,3-0,5 г/л, фонові значення питомого електричного опору для Аркадійської ділянки – 30 – 40 Ом.

На рис. 3 зображена карта техногенного забруднення водоносного горизонту в інтервалі глибин 10 – 20 м, де чітко видно, що у районі аномалії "хімсклад" спостерігається інтенсивне забруднення на зазначеній глибині.

Крім комплексу погоризонтних геофізичних карт, за комплексними даними складаються геолого-геофізичні моделі, де відображаються особливості техногенного забруднення ділянки по вертикалі. У сукупності з приведеними картами, які можуть розглядатися як своєрідні геоелектричні зрізи, вони дають об'ємне уявлення про характер забруднення території. У цілому, воно достатньо глибоке та інтенсивне. Причому інфільтрація і міграція забруднених розчинів простежується на глибинах до 20 – 30 м (місцями і більше, див. рис. 3), загальна мінералізація ґрунтових вод складає тут більше 2 г/л.

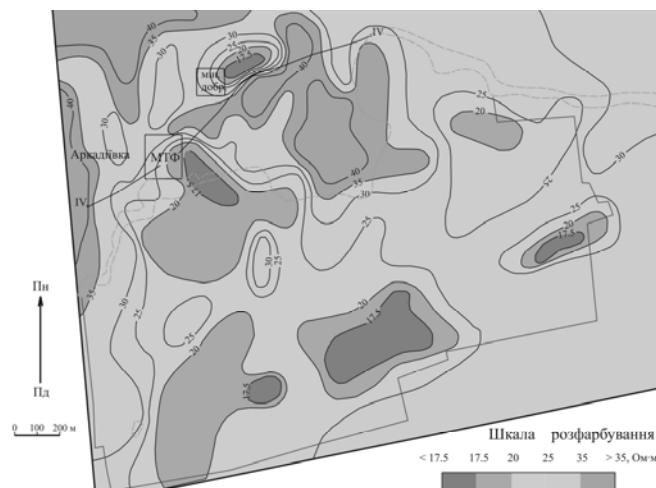


Рис. 3. Карта питомого електричного опору (техногенного забруднення) водоносного горизонту в інтервалі глибин 10 – 20 м. Аркадійська ділянка

Висновки. Результати гідрохімічних досліджень, свідчать про високий вміст в ґрунтових водах нітратів. Це підтверджує те, що найголовнішу роль у формуванні техногенного забруднення середовища на Аркадійській ділянці відіграють біохімічні процеси, які називаються амоніфікацією. У результаті розкладу азотвміщуючих органічних речовин, які, головним чином, виділяються з сечовини тварин, а також добрив утворюється аміак (амоній-іони), відбуваються обмінні реакції із забрудненням води нітратами. Забруднення ґрунтових вод, переважно нітратами, іонами натрію і хлору, досить характерне для сільських населених пунктів, де відсутні промислові підприємства. При цьому породи зони аерації, а також ґрунти найчастіше слабо забруднені.

В районі хімскладу в с. Аркадійка зафіксована дуже висока електрична провідність верхніх шарів та значний вміст в них сульфат-іону, хлор-іону і підвищений вміст нітратів.

Зміни складу та властивостей порід зони аерації і горизонту ґрунтових вод, викликані дією техногенних факторів, призводять до значної зміни фізичних параметрів порід. Внаслідок цього електричний опір порід і ґрунтів, що складають верхню частину розрізу, залежить не тільки від первинного складу, скільки від їх стану – зволоженості (водопроникності), ступеню перетворення, засолення (забруднення), мінералізації вод

(забруднення). Причому встановлені парні кореляційні зв'язки між питомим електричним опором і відповідно засоленням (забрудненням) порід, мінералізацією (забрудненням) вод, сумарним вмістом у воді хімічних компонентів. Існують, відповідно, передумови для успішного використання електророзвідки (в модифікації МЕЗ) з метою вивчення і картування техногенного забруднення геологічного середовища, у тому числі "неявного" забруднення, що не проявляється у верхніх шарах.

Таким чином, дані екогеофізичних досліджень можуть використовуватися для оцінки і прогнозу техногенного забруднення. Одержана за допомогою екогеофізичних досліджень інформація може служити матеріалом для контролю техногенного забруднення довкілля, зберігатися в банках даних та бути основою для прийняття управлінських рішень.

1. Вахромеев Г.С. Экологическая геофизика. - Иркутск, - 1995. 2. Вижва С.А. Геофизический мониторинг небезопасных геологических процессов. - К., 2004. 3. Онищук І.І. Комплексні екогеофізичні дослідження для вивчення забруднень довкілля нафтопродуктами // Нафтові та газові ресурси України: проблеми їх пошуку, видобутку, транспорту, переробки та використання: 36. мат. - Ів.-Франківськ. - 1997. 4. Онищук І.І., Рева М.В., Нікіташ О.П., Онищук В.І. Дослідження техногенного забруднення довкілля геофізичними методами // Вісн. Київ. ун-ту. Геологія. - 2006. - № 38-39. - С. 93-96.

Надійшла до редколегії 01.12.09

О ВЛИЯНИИ СПЛОШНОЙ СРЕДЫ НА ГРАВИТАЦИОННОЕ ПОЛЕ МАССЫ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром фіз.-мат. наук, проф. М.А. Якимчуком)

Запропоновано систему диференціальних рівнянь статичного (гравітаційного, електричного, магнітного) полів в неоднорідних суцільних середовищах. Система дозволяє отримати нові розв'язки прямих та обернених задач геопотенціальних полів з урахуванням впливу неоднорідності середовища. Запропонована модель статичного векторного поля задається системою диференціальних рівнянь першого та другого порядків. Рівняння вміщують як характеристики поля (напруженість, потенціал), так і фізичні властивості середовищ, в яких це поле існує і які впливають на величини поля.

The system of the differential equations of the static (gravitational, electric, magnetic) field in the heterogeneous continuous mediums, which allows to obtain a new solutions of the direct and inverse problems of the geopotential fields, considering the influence of heterogeneity of the studied models is proposed. This model of the static vector field is described by a system of differential equations of the first and second orders. The equations includes the characteristics of the field (tension, potential) and physical characteristics of the environments in which this field exists and which influence to the magnitude of the field.

Статья посвящена вопросу развития теории геопотенциальных полей в неоднородных сплошных средах. Предлагаемая система дифференциальных уравнений стационарного поля, создаваемого одним источником (массой, электрическим зарядом, магнитной массой) в неоднородной среде, включает как аналоги известных ранее дифференциальных уравнений электростатического поля, так и уравнения, являющиеся совершенно новыми, например, для гравитационного поля. Учет влияния геоплотности неоднородности при расчете гравитационного эффекта от каждого элемента аппроксимации модели приводит к повышению точности и информативности результатов интерпретации данных гравиразведки.

Гипотезы об ослаблении гравитационного излучения материальным телом выдвигались учеными давно [1, 2]. Ослабление силы притяжения между двумя телами при наличии между ними плотного экрана задавалось введением в закон Ньютона экспоненциального множителя e^{-hL} , где h – коэффициент ослабления силы на единицу длины массы удельной плотности, L – толщина экрана или длина пути, проходимог гравитационным лучом.

В статье предлагается иной подход к изучению влияния сплошной материальной среды, окружающей массу, на гравитационное поле этой массы. Последовательно проводится: 1) обоснование влияния однородных сред на поле массы и запись коэффициента ослабления поля в среде с плотностью, отличной от нуля; 2) получение уравнений определения характеристик поля (напряженность, потенциал) в неоднородных по своим плотностным характеристикам средах. При этом рассматривается не взаимодействие (или сила взаимодействия) источников поля – масс друг с другом, а изучается процесс распространения энергии источника поля в среде, которая заполнена источниками аналогичного по своей природе поля. Фактически уже на стадии постановки задачи подразумевается, что классический принцип суперпозиции полей в неоднородных средах сохраняется только для первой своей части: поле от нескольких источников определяется как сумма полей от каждого из этих источников, однако поле от каждого источника рассчитывается с учетом влияния материальности окружающей его среды, в отличие от общепринятого расчета поля источника как поля в вакууме.

Напряженность $\vec{E}$ гравитационного поля массы, занимающей объем dV плотностью $\sigma_{\text{ист}} = \text{const}$, согласно [3], в вакууме определяется по формуле

$$\vec{E}_\epsilon(x, y, z) = -\gamma \frac{\sigma_{\text{ист}} dV}{r^2} \frac{\vec{r}}{r},$$

где γ – гравитационная постоянная; $\vec{r}$ – вектор, направленный от источника (массы $dm = \sigma_{\text{ист}} dV$) к точке наблюдения с координатами (x, y, z) .

Поместим этот источник в однородную безграничную среду с плотностью $\sigma_{\text{сп}} = \sigma(x, y, z) = \text{const}$. Простым геометрическим сложением векторов напряженности поля источника и напряженности поля симметричного относительно точки наблюдения элемента среды (массы $\sigma_{\text{сп}} dV$) получим выражение для определения напряженности поля одного источника в однородной среде с ненулевой плотностью:

$$\vec{E}_{\text{сп}}(x, y, z) = -\gamma \frac{(\sigma_{\text{ист}} - \sigma_{\text{сп}}) dV}{r^2} \frac{\vec{r}}{r}.$$

Запишем последнюю формулу в несколько ином виде.

$$\vec{E}_{\text{сп}} = \vec{E}_\epsilon \frac{\sigma_{\text{ист}} - \sigma_{\text{сп}}}{\sigma_{\text{ист}}}. \quad (1)$$

Соответственно потенциал поля источника определится как

$$U_{\text{сп}} = U_\epsilon \frac{\sigma_{\text{ист}} - \sigma_{\text{сп}}}{\sigma_{\text{ист}}}. \quad (2)$$

Следовательно, поле источника в однородной среде с $\sigma_{\text{сп}} = \sigma(x, y, z) = \text{const}$ ослабляется по сравнению с полем этого же источника в вакууме в $\frac{\sigma_{\text{ист}} - \sigma_{\text{сп}}}{\sigma_{\text{ист}}}$ раз. Совершенно естественным представляется постулировать положение: напряженность поля источника в однородной среде с $\sigma_{\text{сп}} \neq 0$ не может быть больше напряженности поля, создаваемого этим же источником в вакууме.

Разность $\sigma_{\text{ист}} - \sigma_{\text{сп}}$ носит общепринятое в гравиметрии название избыточной плотности. Традиционно при расчете аномальных гравитационных эффектов сложилась практика оперировать как с положительной

$\sigma_{ист} \geq \sigma_{cp}$, так и с отрицательной $\sigma_{ист} < \sigma_{cp}$ избыточной плотностью. Возможны три варианта.

1. Избыточная плотность положительна, $\sigma_{ист} > \sigma_{cp}$. В этом случае поле источника существует, т. е. может быть зарегистрировано в любой точке среды. Напряженность поля массы dm в среде $\vec{E}_{cp}$

совпадает по направлению с напряженностью поля идентичного источника в вакууме $\vec{E}_в$; модуль вектора $\vec{E}_{cp}$ меньше модуля $\vec{E}_в$ в $\frac{\sigma_{ист} - \sigma_{cp}}{\sigma_{ист}}$ раз (рис. 1, а).

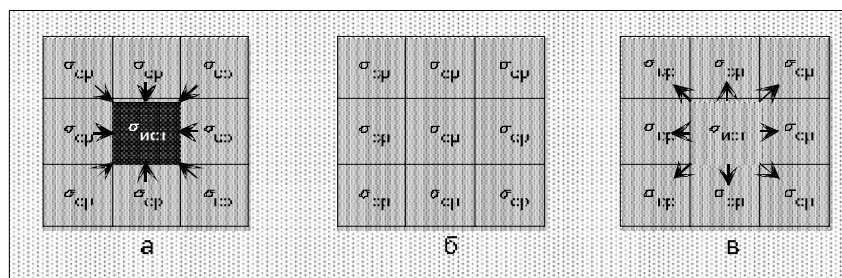


Рис. 1. Поле источника в однородных безграничных средах: а) – избыточная плотность больше 0; б) – избыточная плотность равна 0; в) – избыточная плотность меньше 0

2. Избыточная плотность равна 0, $\sigma_{ист} = \sigma_{cp}$. В

формуле (2) коэффициент $\frac{\sigma_{ист} - \sigma_{cp}}{\sigma_{ист}} = 0$. Напря-

женность поля элемента среды $\sigma_{cp} dV$ в однородной безграничной среде равна 0. Это означает, что в однородной безграничной среде гравитационное поле отсутствует (рис. 1, б).

3. Избыточная плотность отрицательна, $\sigma_{ист} < \sigma_{cp}$. В этом случае поле от источника (массы $dm = \sigma_{ист} dV$) не может быть зарегистрировано в пространстве, окружающем источник. Это положение необходимо обосновать, исходя как из формальных, так и из физических предположений.

С формальной точки зрения: допустим, что $\sigma_{cp} \gg \sigma_{ист}$, для физической абсурдности достаточно, чтобы выполнялось неравенство $\sigma_{cp} > 2\sigma_{ист}$.

Тогда, основываясь на (2), получим, что $\left| \vec{E}_{cp} \right| > \left| \vec{E}_в \right|$, т.

е. модуль вектора напряженности в среде больше, чем модуль вектора напряженности гравитационного поля этого же источника в вакууме. Поскольку величины напряженности и объемной плотности энергии поля связаны, это недопустимо.

Далее – в этом случае вектор $\vec{E}_{cp}$ противоположен

по направлению вектору $\vec{E}_в$. Это означает, что положительная масса $dm > 0$ создает поле отталкивания, а не тяготения, что вообще противоречит природе гравитационного поля.

С физической точки зрения: если рассматривать статическое гравитационное поле как непрерывно возобновляемый в каждой точке поток гравитационной энергии, то для элемента среды с плотностью $\sigma_{ист} < \sigma_{cp}$ поток из объема dV не может быть наблюден, поскольку этот поток уничтожается более мо-

щным потоком гравитационной энергии от соседних, с $\sigma_{cp} > \sigma_{ист}$, и, следовательно, более мощных (интенсивных) источников. Фактически в этом случае точка с $\sigma_{ист} < \sigma_{cp}$ является "стоком" поля, а не источником.

Еще раз необходимо заметить, что рассматривается идеализированная модель безграничной однородной среды в отсутствие внешнего гравитационного поля.

Таким образом, присутствие вокруг источника однородной среды с ненулевой плотностью ослабляет (а в случае $\sigma_{cp} > \sigma_{ист}$ – уничтожает) поле данного источника по сравнению с полем в вакууме. Коэффициент ослабления напряженности и потенциала определяет-

ся отношением $\frac{\sigma_{ист} - \sigma_{cp}}{\sigma_{ист}}$. Если принять как основу

гипотезу, трактующую стационарное гравитационное поле как непрерывный и непрерывно возобновляемый во времени поток энергии, то ослабление напряженности поля – суть потери гравитационной энергии в процессе ее непрерывного возобновления в каждой точке среды. Чем больше плотность окружающей источник среды, тем меньше величина напряженности поля, и, соответственно, меньше объемная плотность энергии поля. Поскольку однородные среды с различными плотностями в неравной степени ослабляют поле одного и того же источника, то в неоднородной среде с $\sigma_{cp}(x, y, z) \neq const$ напряженность поля источника в общем случае должна зависеть от характера распределения плотности вещества в среде, окружающей источник.

Для получения уравнений поля в неоднородной среде предлагается следующая идеализированная модель явления.

Рассматривается гравитационное поле, создаваемое массой элементарного объема среды $dm = \sigma_{ист} dV$. Источник в точке S находится в среде с плотностью $\sigma(x, y, z)$ и создает в среде гравитационное поле. Среда обладает запасом потенциальной энергии, величина которой зависит от характеристики среды $C(x, y, z)$:

$$C(x, y, z) = \gamma(\sigma_{ист} - \sigma(x, y, z))dV. \quad (3)$$

Эта энергия проявляется как способность среды уменьшать (ослаблять) поле источника. Для однородных сред с различными плотностями коэффициенты ослабления поля одного и того же источника различны (см. (1), (2)). Поэтому представляется логичным предположить, что в неоднородной среде с $\sigma(x, y, z) \neq const$ происходит неравномерное уменьшение энергии поля источника. Объемная плотность энергии поля [3] пропорциональна квадрату напряженности поля в среде $\vec{E}_{cp}(x, y, z)$, поэтому следует допустить, что в общем случае линии напряженности поля могут рассматриваться как энергетические линии, т. е. как условные линии в пространстве, вдоль которых распространяется поток энергии. Для неоднородных

сред энергетические линии будут в общем случае криволинейны вследствие дифференциации среды по плотностной характеристике (рис. 2). При этом в любой точке изменение величины и направления потока гравитационной энергии определяется изменением вектора

$\vec{E}_{cp}$, которое может быть описано дифференциальными характеристиками, и, со всей очевидностью, зависит от поведения функции $\sigma_{cp}(x, y, z)$ в окрестности данной точки.

Рассмотрим простейшую плотностную модель среды: два безграничных однородных слоя разделены плоской поверхностью раздела, плотности слоев σ_{cp1} и σ_{cp2} (рис. 3).

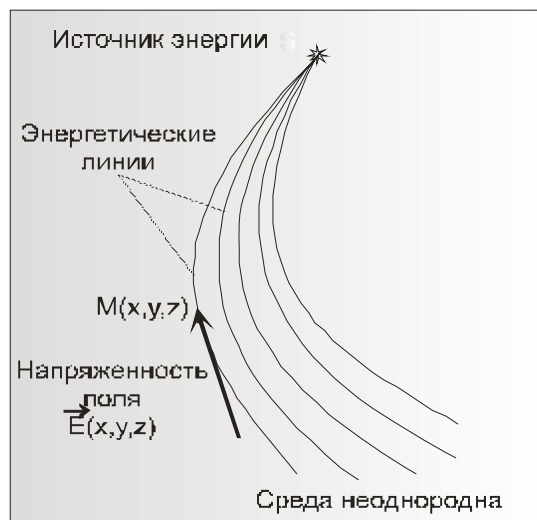


Рис. 2. Линии напряженности гравитационного поля источника в неоднородной среде

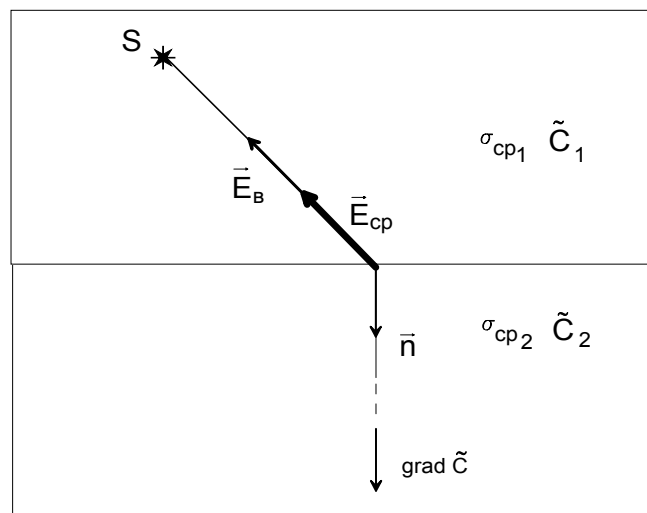


Рис. 3. Определение поля на поверхности раздела двух однородных сред

В первой среде в точке S находится источник поля – масса $dm = \sigma_{ист} dV$. Пусть выполняется условие $\sigma_{ист} \geq \sigma_{cp1}$, т. е. этот источник создает в среде 1 гравитационное поле. Обозначим величину

$$\frac{\sigma_{ист} - \sigma_{cp}(x, y, z)}{\sigma_{ист}} = \tilde{C}(x, y, z). \quad (4)$$

Безразмерная функция $\tilde{C}(x, y, z)$ несет такую же смысловую нагрузку избыточной плотности, как и функция характеристики среды (3). Еще раз отметим, что

рассматривается поле одного источника $dm = \sigma_{ист} dV$, поэтому для одной и той же среды $\sigma_{cp}(x, y, z)$ и различных $\sigma_{ист}$ функции C , $\tilde{C}$ также будут различны. Для более компактной записи формул далее все функции указываются без аргументов, подразумевается, что $\vec{E}_{cp} = \vec{E}_{cp}(x, y, z)$, $U_{\epsilon} = U_{\epsilon}(x, y, z)$, $C = C(x, y, z)$, ... – функции декартовых прямоугольных координат.

Для поля в первой среде справедлива формула (1), с принятым в формуле (4) обозначением это выражение запишется как

$$\vec{E}_{cp} = \vec{E}_{\epsilon} \tilde{C}. \quad (5)$$

Соответственно

$$U_{cp} = U_{\epsilon} \tilde{C}.$$

На поверхности раздела со стороны первой среды напряженность поля источника $\vec{E}_{cp1}$ совпадает по направлению с вектором напряженности этого источника

$$\vec{E}_{cp} = -grad U_{cp} = -grad (U_{\epsilon} \tilde{C}) = \vec{E}_{\epsilon} \tilde{C} - U_{\epsilon} grad (\tilde{C}). \quad (6)$$

Из последнего уравнения следует, что:

- тангенциальные компоненты вектора напряженности при переходе через поверхность раздела двух сред с различными характеристиками остаются непрерывными;

- нормальная компонента вектора $\vec{E}_{cpn}$ терпит разрыв при переходе через поверхность раздела;

- уравнение (6) нельзя использовать для определения характеристик поля в неоднородных средах, поскольку при переходе через поверхность раздела вектор $\vec{E}_{cp}$ во второй среде как минимум отличается от

вектора $\vec{E}_{\epsilon}$ по направлению;

- при таком подходе по уравнению (6) невозможно определить нормальную компоненту напряженности

поля $\vec{E}_{cp2}$ во второй среде, так как в непосредственной близости к поверхности раздела ее величина достигает очень больших значений. По аналогии с электростатическим полем [4] допустим, что это большое поле является свойством самой поверхности и быстро спадает на малых расстояниях от нее.

Пусть источник – масса $dm = \sigma_{ист} dV$ – находится в точке S (рис. 4) и создает в неоднородной окружающей среде с характеристикой $C(x, y, z)$ (см. (3)) поле. Это означает, что можно наблюдать напряженность поля источника $\vec{E}_{cp}$ как векторную однозначную функцию координат. Пусть функция C непрерывна вместе со своими производными до второго порядка.

Тогда всегда можно определить вектор $\vec{r}^*$, имеющий физический смысл расстояния, такой, чтобы выполнялось равенство:

в вакууме $\vec{E}_{\epsilon}$. Так как по условию существования поля $\sigma_{ист} \geq \sigma_{cp}$, то функция $\tilde{C}$ всегда положительна и меньше или равна 1. Модуль вектора $\vec{E}_{cp1}$ меньше модуля $\vec{E}_{\epsilon}$ в $\tilde{C}_1$ раз.

На поверхности раздела характеристика среды меняется скачкообразно, градиент функции $\tilde{C}$ здесь достигает очень больших значений ввиду конечной разности плотности сред на очень малых расстояниях. Направление вектора $grad \tilde{C}$ определяет направление нормали к поверхности раздела $\vec{n}$. Запишем вектор напряженности поля $\vec{E}_{cp}$ как градиент потенциала U_{cp} , учитывая, что функция $\tilde{C}$ не везде постоянна, а именно – в точках на поверхности $grad \tilde{C}$ отличен от нуля.

$$\vec{E}_{cp} = C \frac{\vec{r}^*}{(r^*)^3}. \quad (7)$$

При этом в любой точке, где однозначно определен вектор $\vec{E}_{cp}$ и выполняется условие непрерывности

функции C и ее производных, вектор $\vec{r}^*$ будет определен единственным образом, т. е. начало этого вектора в точке S будет строго фиксированным.

Для определения характера изменения $\vec{E}_{cp}$ в неоднородной среде достаточно получить уравнения, связывающие дифференциальные характеристики $\vec{E}_{cp}$ с функцией C и ее производными. Поэтому нет

необходимости определять сам вектор $\vec{r}^*$, введение которого в рассмотрение является скорее иллюстративным приемом, аналогичным, например, построению фиктивных зарядов в электростатике диэлектриков [4]. Существенным, однако, является тот факт, что для каждой точки среды, где определена напряженность поля данного источника, этот вектор задается единственным образом. Поэтому допустима следующая запись формулы (7):

$$\frac{\vec{E}_{cp}}{C} = \frac{\vec{r}^*}{(r^*)^3}.$$

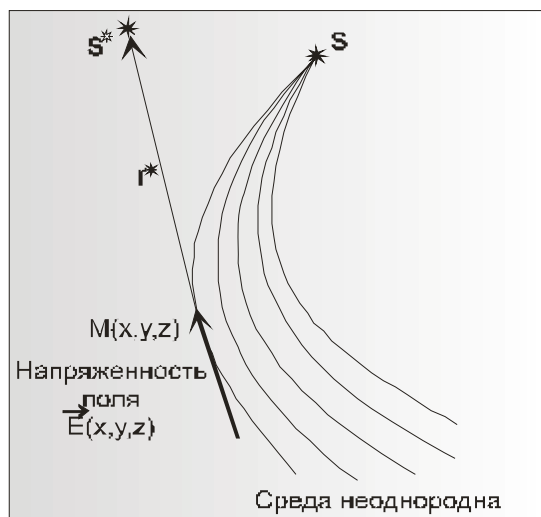


Рис. 4. Построение вектора r^* в неоднородной среде

Применим операции ротора и дивергенции к обеим частям последней формулы. Учитывая, что ротор и дивергенция поля центральных сил в правой части равны 0 [5], получим систему дифференциальных уравнений, позволяющих определить напряженность поля одного источника в неоднородной среде:

$$\operatorname{div} \left(\frac{\vec{E}_{cp}}{C} \right) = 0. \quad (8)$$

$$\operatorname{rot} \left(\frac{\vec{E}_{cp}}{C} \right) = 0. \quad (9)$$

Система (8)-(9) является основной для определения гравитационного поля в неоднородной среде. Аналогично можно получить уравнение для определения потенциала поля в неоднородной среде:

$$\Delta \left(\frac{U}{C} \right) = 0. \quad (10)$$

Дифференциальные уравнения (8)-(10) при соответствующем задании функции характеристики среды $C(x, y, z)$ справедливы для электростатического и магнитного полей.

Для электростатического поля одного источника элементарного объема с плотностью заряда $\delta_{ист}^{эл}$ в среде, которая характеризуется диэлектрической проницаемостью $\varepsilon(x, y, z)$ и содержит неподвижные электрические заряды с плотностью $\delta^{эл}(x, y, z)$, характеристика среды определяется формулой:

$$C(x, y, z) = \frac{(\delta_{ист}^{эл} - \delta^{эл}(x, y, z))dV}{\varepsilon(x, y, z)}.$$

Для магнитного поля, создаваемого магнитной массой элементарного объема плотностью $\delta_{ист}^м$, в присутствии среды, характеризующейся магнитной проницае-

мостью $\mu(x, y, z)$ и включающей неподвижные магнитные массы, распределенные в пространстве с плотностью $\delta^м(x, y, z)$

$$C(x, y, z) = \frac{(\delta_{ист}^м - \delta^м(x, y, z))dV}{\mu(x, y, z)}.$$

Соответствующим заданием функции характеристики среды C (как частный случай) возможно получение известных [3, 4] уравнений электростатического поля в проводниках или в диэлектриках. Уравнения (8)-(10) также возможно использовать для расчетов в смешанных средах, состоящих для электрического поля из системы электрических зарядов, произвольно расположенных в неоднородном диэлектрике. Для магнитного поля возможно задание среды, неоднородной по магнитным свойствам и содержащей произвольное распределение магнитных масс различной плотности.

В однородных и кусочно-однородных средах уравнения (8)-(10) переходят в основную систему уравнений для статического поля [6]:

$$\operatorname{div} \vec{E} = 0, \quad \operatorname{rot} \vec{E} = 0, \quad \Delta U = 0.$$

Предлагаемая система дифференциальных уравнений статического (гравитационного, электрического, магнитного) поля в неоднородных сплошных средах позволяет получить унифицированные новые решения прямых и обратных задач геопотенциальных полей с учетом влияния неоднородности изучаемых моделей.

1. Михайлов И.Н. Возможности и проблемы гравиразведки. Мат. 32-й сессии Межд. науч. сем. им. Д.Г. Успенского "Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей". – Пермь, 2005.
2. Михайлов И.Н. Гравитация и гравиразведка. Геофизика. – 2005. – №1. – С. 38-49.
3. Овчинников И.К. Теория поля. – М., 1979.
4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. Теоретическая физика, Т. VIII. М., 1982.
5. Бронштейн И.Н., Семендяев И.К. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. Изд. перераб. под ред. Г. Гроше и В. Циглера. Лейпциг: Тойбнер. М., 1981.
6. Альпин Л.М. Теория поля. – М., 1996.

Надійшла до редколегії 27.01.10

УДК 550.34 :539.3

В. Сівак, електромеханік

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РУХІВ ГЕОСФЕР

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром фіз.-мат. наук, проф. Б.П. Масловим)

Результати експериментальних досліджень дали можливість визначити вплив динамічних процесів, які відбуваються в надрах Землі та на її поверхні на швидкість руху твердих оболонок Землі. На основі виконаного гармонійного аналізу форм втрати стійкості земної кори при її комбінованому навантаженні, які відбиті на її поверхні і форм коливань тонкої оболонки на мінімальній власній частоті коливань встановлено, що вони подібні.

Experimental investigation results gave a possibility of influence determination of dynamical processes that take place in the interior of the earth and on its surface on motion velocities of solid shells of the earth. It was established on the base of fulfilled harmonical analysis of earths crust buckling at its combined loading on it surface and thin shell vibration forms, that they are similar.

Вступ. Серед глобальних проблем еволюції Землі стоять задачі, які пов'язані з рухами геосфер і літосферних плит, а також, задачі, пов'язані з різким збільшенням вісьового навантаження земної кори після збудження коливань в літосфері Землі. Відзначимо, що задачі, які пов'язані з впливом на несучу здатність земної кори динамічних явищ, які виникають при втраті стійкості, раніше не розглядались. Актуальність цієї проблеми відзначалась в роботі [2]. В роботі [3] тектонічні процеси в земній корі розглянуто з механічної точки зору з використанням методів опору матеріалів і теорії оболонок. Відзначається, що приливно – відливні процеси в земній корі, які обумовлені дією Місяця і Сонця, є основною причиною гороутворення. В роботі [3] також відзначається, що незрозумілим є те, чому материки розміщені в формі трилистника. Не ясно, чому материки і острови розміщені в більшості в Північній півкулі, тоді як основну частину Південної півкулі займають океанські западини. В даній роботі зроблена спроба вирішити деякі з вказаних задач за допомогою резонансного методу.

Експериментальне моделювання механізму зміни швидкості обертання Землі.

Метою даної роботи є моделювання механізму зміни швидкості обертання однієї твердої оболонки Землі відносно інших при дії на одну з них динамічного навантаження в резонансному режимі.

Частоти і форми коливань оболонки, наповненої рідиною.

Для експериментального дослідження використовувались дві циліндричні оболонки і одна конічна. Розміри циліндричних оболонок наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Геометричні параметри оболонок

Номери оболонок	L, см	R, см	h, см
1	50	15	0,05
3	24	4,7	0,01

Оболонка №1 була підкріплена 20 стрінгерами довжиною 48 см рівномірно розміщеними на внутрішній її поверхні. Стрінгери кутового профілю 1,5x 1,5x0,05 см. Конічна оболонка №2 радіусом більшої основи $R_6=12$ см, радіусом меншої основи $r=7$ см і висотою $H=13,8$ см. Оболонки №1 – №3 виготовлені з алюмінієво – магнієвого сплаву АМг – 6М. Края оболонки №1 були підкріплені пасками шириною по 1 см і товщиною 0,05 см. Товщини пасків дорівнювали 0,05 см. Стрінгери і паски були приварені до оболонки точковим зварюванням. Нижній край оболонки №1 вставлявся в кільцевий паз масивного сталюого диску, наповненого розплавленим воском при затвердінні якого були реалізовані умови, що близькі до жорсткого защемлення нижнього краю оболонки. Верхній край оболонки №1 лишався вільним. В процесі експериментів оболонка №1 наповнювалась рідиною. В якості рідини використовувалась технічна вода. Схема експериментальної установки наведена на рис. 1.

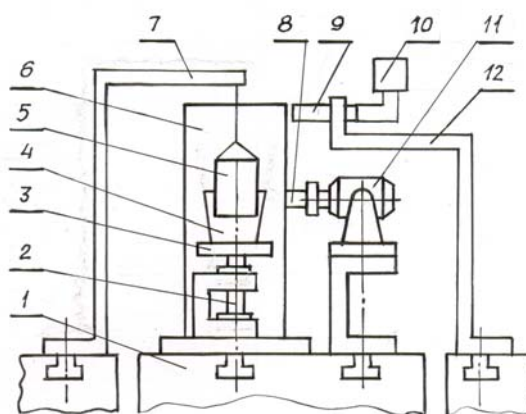


Рис. 1. Установка для моделювання синхронізації коливань і обертання твердих оболонок Землі

Власні частоти і форми коливань оболонок №1-6 визначались резонансним методом. Оболонка №1 жорстко прикріплювалась до масивної основи 1. Збудження коливань оболонки виконувалось за допомогою вібратора 11 вібростенду ВЕДС – 10А та шпильки 8. Частота вимушених коливань реєструвалась частотоміром електроннолінійним ЧЗ-32 (на рис. 1 не показаний) з точністю до 1 Гц. Форма коливань оболонок №1 в окружному напрямі визначалась шляхом вимірювань амплітуд коливань оболонки в її середньому перетині в двадцятьох точках. Вимірювання амплітуд коливань проводились за допомогою безконтактного віброперетворювача 9 і блоку ВВВ – 302-10. Віброперетворювач 9 був жорстко прикріплений до кронштейну 12. Результати вимірювань власних частот і форм коливань для форм коливань з $n=3-5$ (n – число хвиль в окружному напрямі) для оболонок №1 показані на рис. 2. Кругами, трикутниками і квадратами позначені експериментальні значення, відповідно, для $n=3-5$ (при $H_1=0; 0,25; 0,5; 0,75$ і 1 ($H_1=H/L$, H – висота наповнення оболонки рідиною, L – довжина оболонки). На рис. 2 експериментальні дані умовно з'єднані штриховими лініями.

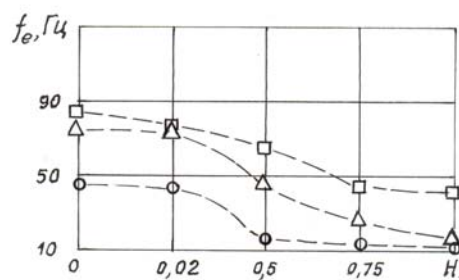


Рис. 2. Залежність власних частот коливань від висоти наповнення оболонки №1 рідиною

З аналізу одержаних результатів, наведених на рис. 2, випливає, що при збільшенні рівня наповнення оболонки рідиною її власні частоти коливань суттєво зменшуються.

Експериментальне моделювання механізму зміни швидкості обертання твердих оболонок Землі.

Для моделювання швидкості обертання твердих оболонок Землі оболонки №2 і №3 встановлювались всередині оболонки №1. Оболонка №2 ~ 4 встановлювалась на пластині 3 ~ 3, яка за допомогою гайки М8 була жорстко прикріплена до вертикальної вісі. Вісь 2 встановлена на двох підшипниках так, що її вісь співпадала з вісю оболонки №1. Оболонка №3 ~ 5 підвішувалась за допомогою трьох легких ниток до масивного кронштейну 7. При цьому її нижній край був занурений у рідину на 1/2L. Експериментальне дослідження проводилось при $H_1=0,5$. Встановлено, що при збудженні коливань в резонансних режимах в оболонці №1 оболонки №2 і №3 виконують обертальні рухи навколо власної вісі. Слід відзначити, що обертальні рухи оболонки №2 відбувались в межах однієї півхвилі. Оскільки оболонка №2 в резонансному режимі вказаної системи самовстановлювалась так, що на мінімальній власній частоті коливань її півхвилі розміщувались симетрично з півхвилями оболонки №1. Результати досліджень наведені в табл. 2.

Таблиця 2. Вплив власних частот коливань оболонки №1 на швидкість обертання оболонок №2 і №3

Номери оболонок	f_e , Гц	γ , рад/с	Напрямок поворотів
2	15	0,078	β
	71	0,157	α
3	15	0,078	β
	71	0,157	α

В табл. 2 введені такі позначення: γ – позначені кути поворотів оболонок №2 і №3 відносно оболонки №1, літерою α – напрямком обертання оболонки №2 або оболонки №3 за годинниковою стрілкою (якщо дивитись на них зверху), β – напрямком рухів оболонок проти годинникової стрілки.

Далі, до верхнього вільного краю конічної оболонки приєднувався вантаж масою 30 г. Відзначимо, що диск в який запаяна оболонка №1, був розміщений на станині з ухилом 3° . Подібні перекоси мають місце і в геодинамічних системах, наприклад, через нерівномірність Місячно – Сонячного тяжіння на різних широтах та інших сил. При проведенні дослідів вантаж був встановлений на 90° зліва від точки приєднання вібратора до оболонки. Встановлено, що на частоті 11,5 Гц оболонка №2 оберталась за годинниковою або проти годинникової стрілки з середньою швидкістю $\gamma_{cp}=1,063$ рад/с. Одержано відношення $f_{min}/\gamma_{cp}=10,81$. Таке відношення для Землі $f_{min}/\gamma_{cp}=4,36$. У даній роботі одержано параметр подібності тонких оболонок обертання і земної кори, оскільки їх відношення мінімальної власної частоти коливань до швидкості обертання практично одного порядку.

В даній статті за допомогою розробленої установки промодельована синхронізація коливань динамічної системи, яка складається з твердої оболонки верхньої мантії, астеносфери і літосфери. На погляд автора, тверді оболонки Землі змінюють швидкість обертання завдяки зміні рівня інтенсивності коливань, що збуджуються в надрах Землі та на її поверхні під час їх деформацій, які супроводжуються землетрусами (при місцевій або загальній втраті стійкості твердих оболонок Землі). Оскільки амплітуди коливань твердих оболонок Землі постійно змінюються, то постійно змінюється й швидкість обертання твердих оболонок Землі. Встано-

влено, що при зміні частот коливань оболонки №1 поблизу резонансного піка оболонка №2 обертається за годинниковою, або проти годинникової стрілки, що свідчить про те, що напрямок поворотів залежить від нелінійності коливань в резонансному режимі. Аналогічно діють імпульси, які посилюються твердими оболонками Землі, в яких збуджуються коливання, попадають на передній або на задній фронті півхвилі їх коливань (або відбитих на їх поверхні форм коливань), що призводить до збільшення або до зменшення швидкості обертання твердих оболонок Землі. На погляд автора, аналогічний механізм діє і при поворотах літосферних плит (імпульси діють на фронті півхвилі як вітер або вода в водяних чи вітряних млинах). З аналізу числених сейсмограм, наприклад, в роботі [4] встановлено, що на амплітудно – частотних характеристиках, одержаних під час сильних землетрусів, спостерігаються нелінійні коливання земної поверхні.

Експериментальне моделювання форм втрати стійкості земної кори при її комбінованому навантаженні. Для експериментального дослідження використовувалась замкнута циліндрична оболонка довжиною $L=50$ см радіусом $R=14$ см і товщиною $h=0,03$ см. Оболонка виготовлена за допомогою точкового зварювання з листового прокату титанового сплаву ОТ – 4 ($E=1,1 \cdot 10^{11}$ Н/м², $\nu=0,34$).

Результати визначення власних частот і форм коливань оболонки. Власні частоти і форми коливань розглянутої оболонки визначались резонансним методом. Збудження коливань оболонки виконувалось за допомогою генератора ГЗ-110. Коливання оболонки збуджувались за допомогою котушки масою 5 г. Котушка прикріплювалась до оболонки в її середньому перетині. Мінімальна власна частота коливань оболонки $f_{min}^e=270$ Гц. Форма коливань оболонки в окружному напрямі визначалась шляхом вимірювань амплітуд коливань оболонки в її середньому перетині в двадцяти точках. Вимірювання амплітуд коливань проводились за допомогою безконтактного віброперетворювача і блоку ВВВ-302. Аналогічно вимірювались і форми коливань в меридіональному напрямі. В меридіональному напрямі одержана одна півхвиля ($m=1$). Форма коливань оболонки в окружному напрямі на мінімальній власній частоті наведена на рис. 3. Стрілкою показана точка кріплення котушки вібратора.

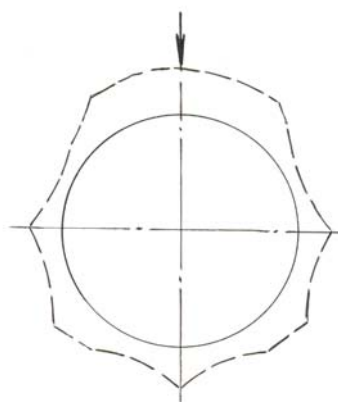


Рис. 3. Форма коливань оболонки в окружному напрямі

Установка для випробувань оболонки на стійкість при вісьовому стисненні і результати визначення критичного напруження. Випробування проводились на стандартній двохтонній випробувальній машині SHIMADZU (виробництво Японія, рік виготовлення

1950). Оболонка встановлювалась на горизонтальний стіл установки. Края оболонки були залиті розплавленим воском. Таке закріплення країв оболонки забезпечувало їх жорстке защемлення. Навантаження країв оболонки вісьовим стисненням виконувалось плавно до загальної втрати стійкості. Місцева і загальна втрата стійкості супроводжувалась хлопками. Місцева втрата стійкості супроводжувалась появою декількох вм'ятин, які з ростом навантаження збільшувались; при цьому з'являлись також нові вм'ятини. Місцева втрата стійкості спостерігалась при навантаженні, яке приблизно дорівнювало $0,89 P_{кр}$ ($P_{кр}$ – навантаження, при якому відбулась загальна втрата стійкості). Навантаження оболонки припинялось після того, як починалось різке падіння навантаження, яке сприймала оболонка. Критичне навантаження прийняло значення 1815 кг. Критичне напруження $\sigma = 6,88 \cdot 10^7$ Па. Форма втрати стійкості оболонки після її загальної втрати стійкості наведена на рис. 4 (вигляд внутрішньої порожнини оболонки).



Рис. 4. Форма втрати стійкості оболонки після зняття навантаження

Аналіз одержаних результатів. Порівняння форм втрати стійкості оболонки одержаних на її поверхні після зняття навантаження (рис. 4) з формами коливань,

одержаних на мінімальній власній частоті коливань (рис. 3) свідчить про те, що вони подібні. Виконаний гармонійний аналіз форм втрати стійкості земної кори, які відбиті на її поверхні з використанням атласів океанів і атласу Антарктиди і методики, наведеної в роботі [1]. Встановлено, що в Південній і Північній півкулях чітко видно, що число хвиль втрати стійкості в широтному напрямі $n=3$. Винятком є те, що число хвиль втрати стійкості земної кори поблизу екватора $n=4$. Таке відхилення форм коливань відбулось тому, що поблизу екватора діють найбільші вісьові і крутильні навантаження. В меридіональному напрямі після проведеного гармонійного аналізу встановлено, що $m=2$ (m – число півхвиль). Загальна втрата стійкості літосфери один раз відбулась при великих навантаженнях, що призвело її до розколу на окремі літосферні плити. Внаслідок синхронізації коливань геодинамічних систем відбулись повороти літосферних плит. Повороти твердих оболонок Землі і літосферних плит продовжуються постійно. В роботі [5] одержані результати експериментального моделювання довантаження твердих оболонок Землі вісьовими силами, які виникають від дії динамічних явищ в надрах і на поверхні Землі. Відзначимо, що раніше невраховане додаткове динамічне навантаження призводить до накопичення напружень (деформацій) і до місцевої або до загальної втрати стійкості твердих оболонок Землі. Оскільки картина хвилеутворення на поверхнях оболонок і земної кори при їхньому вісьовому стисненні приблизно однакова, то цей факт може бути використаний як критерій їх подібності.

1. Иорш Ю.И. Виброметрия. – М., 1963. 2. Белоусов В.В. Основы геотектоники. – М., 1989. 3. Белкин Ф.П. Тектоничні процеси в земній корі під гравітаційним впливом Місяця та Сонця. – К., 1962. 4. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Инженерная геодинамика. – Л., 1976. 5. Сивак В.В. Экспериментальное моделирование динамических явлений, возникающих в твердых оболочках Земли при их осевом сжатии / Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2009, №7. – С.55 – 57.

Надійшла до редколегії 15.11.09

ГЕОІНФОРМАТИКА

УДК 550.3 (519.21)

З. Вижва, канд. фіз.-мат. наук, В. Демидов, канд. фіз.-мат. наук, А. Вижва, студ.

СТАТИСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВИПАДКОВИХ ПОЛІВ НА ПЛОЩИНІ СПЛАЙНОВИМИ АПРОКСИМАЦІЯМИ НА ПРИКЛАДІ ДАНИХ АЕРОМАГНІТОМЕТРІЇ)

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол., проф. М.Н. Жуковим)

Для вирішення проблем кондиційності карт, доповнення даними для досягнення необхідної точності і інших проблем подібного роду в геофізичних задачах пропонується застосовувати методи статистичного моделювання реалізацій випадкових процесів та багатовимірних випадкових функцій (випадкових полів). При аналізі даних по профілях їх розділено на детерміновану та випадкову складові. Детерміновану складову даних пропонується наближати кубічними сплайнами, стаціонарну випадкову складову – моделювати на основі спектральних розкладів випадкових полів. Модельний приклад – дані аеромагнітної зйомки в двовірному варіанті.

It is proposed to apply methods of statistical simulation of realizations of random processes and multi-dimensional random functions (random fields), to solve the problems of conditional maps, adding of data to achieve the necessary precision, and other such problems in geophysics. It is divided into deterministic and random components for data analysis. The deterministic component is proposed to approximate by cubic splines and the stationary random component is proposed to modeling on the basis of spectral expansions of random fields. Model example – aeromagnetic data two dimension field.

Вступ. В геофізиці більшість результатів досліджень подається у цифровій формі, точність якої залежить від різних випадкових впливів (в тому числі від похибки вимірювання апаратури). При цьому виникає проблема кондиційності карт у випадку, коли дані неможливо отримати із заданою деталістністю в деяких ділянках. В таких ситуаціях для доповнення даними, яких не вистачає, рекомендується застосовувати мето-

ди статистичного моделювання реалізацій випадкових процесів та багатовимірних випадкових функцій (випадкових полів) [1-4]. Ці методи розробляються протягом більше 20 років на механіко-математичному факультеті КНУ імені Тараса Шевченка і були запропоновані, як окремий напрямок для досліджень і як засоби для прикладних аспектів, професором, член-кореспондентом НАН України Ядренком М.Й.

Постановка задачі та методи її вирішення. В представленій роботі об'єктом дослідження є дані аеромагнітної зйомки масштабу 1:10 000 в районі Овруцької западини, яка була проведена на протязі 1996 – 2002 років. В загальному плані – це зона зчленування Українського кристалічного щита і Прип'ятської западини. Досліджувався повний вектор напруженості магнітного поля Т. Роботу здійснено по 25 профілях із відстанню між ними 100 метрів. В отримані дані внесено всі необхідні поправки.

Статистичний аналіз об'єкта дослідження (рис. 1, а) засобами програми GeoR (пакет програм для статистичного аналізу випадкових функцій та графічних побудов) показав, що для значень $\Delta T_{ан}$ перших 7 профілів та останніх 5 характерна залежність у вигляді кореляційної функції бesselового типу з одними параметрами, а по проміжних 13 профілях – з іншими (рис. 1, б). Тому для чисельного моделювання даних, які доповнюють експериментальні результати з більшою детальністю, окремо потрібно розглядати моделі для першої частини та другої частини профілів

На рис. 1, а та рис. 1, б наведено графіки варіограм $\gamma(\rho)$, які відповідають підібраним моделям кореляційних функцій бesselового типу для випадкового поля експериментальних даних:

$$B(\rho) = \frac{2 J_1(a\rho)}{a\rho}, \quad (a > 0) \quad (1)$$

Для всіх 25 профілів параметр $a \approx 2,5 \cdot 10^3$ (рис. 1, а), а для частини профілів від 7 по 20 параметр $a \approx 3,5 \cdot 10^3$ (рис. 1, б).

Відомо [1], що варіограма $\gamma(\rho)$ пов'язана із кореляційною функцією $B(\rho)$ виразом:

$$\gamma(\rho) = B(0) - B(\rho)$$

Варіограма описує залежність середнього квадрата різниці значень випадкового поля (в загальному випадку – неізотропного) у двох точках від відстані та напрямку між цими точками. Ця функція для ізотропного випадкового поля залежить лише від відстані ρ між точками [6].

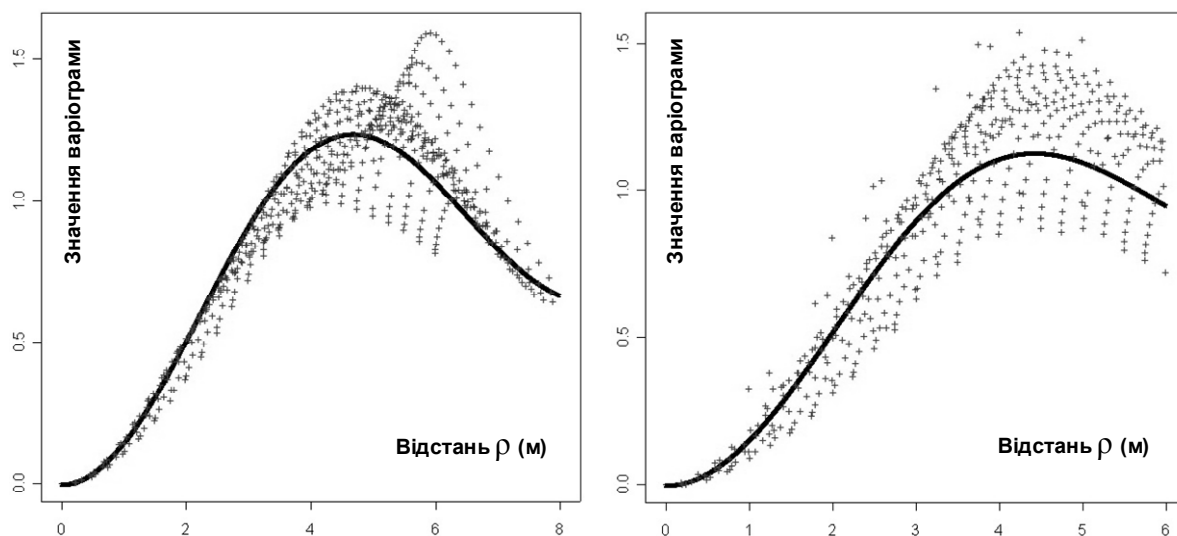


Рис. 1. Варіограма даних $\Delta T_{ан}$, що відповідає кореляційній функції бesselового типу $B(\rho) = \frac{2J_1(a\rho)}{a\rho}$:

а) по ПР1 – ПР25 при $a \approx 2,5 \cdot 10^3$; б) по ПР7 – ПР20 при $a \approx 3,5 \cdot 10^3$

Із наведеного рис. 1 видно, що дані аеромагнітної зйомки візуально можна розділити на частину більшості профілів із кореляційною функцією (1) бesselового типу із значенням параметра $a \approx 3,5 \cdot 10^3$. До цієї частини віднесено профілі починаючи від 7 до 20. Решта (перші 7 та останні 5) профілів описується тією самою кореляційною функцією, але з іншим значенням параметра $a \approx 2,5 \cdot 10^3$. Рис. 1, б містить варіограму 13 профілів більшої частини, які є предметом детального дослідження цієї статті. Другу частину даних рекомендується моделювати за аналогічною схемою, використовуючи інше значення параметра a .

При побудові графіків даних по кожному профілю виявлено, що з них доцільно виділити детерміновану та випадкову складові. Детерміновану функцію можна підбирати різними способами. Один із методів визначення її аналітичного вигляду (тренд $f_i(x)$ у вигляді функції – експоненціально згасаючої косинусоїди або синусоїди) розглядався в роботі [4]. Але існує більш точний спосіб виділення детермінованої складової – наближення даних кубічними сплайнами. Різниця між сплайновою ап-

роксимацією даних із пропусками (наприклад, через один) по кожному профілю та сплайновою кривою для всіх точок є випадковим процесом, причому для більшості профілів – стаціонарним.

За графіками даних кожного профілю виділено стаціонарну випадкову складову $\xi_i(x)$ ("шум" – випадковий процес) і тренд $f_i(x)$ у вигляді детермінованої функції – сплайна, а вхідні дані по профілю є випадковим процесом $\eta_i(x)$:

$$\eta(x) = f(x) + \xi(x), \quad i = 7, 8, \dots, 20$$

На рис. 2 суцільною лінією нанесено сплайнову апроксимацію $S_i^{(1)}(x)$, побудовану засобами пакета програм MathCad, для даних ПР1, які беруться без пропусків. Для такого сплайну було визначено параметри, відповідні даним. Вони задають на кожному профілі тренд $f_i(x)$. Великим штрих-пунктиром зображено графік сплайнової апроксимації $S_i^{(2)}(x)$ даних першого профілю із пропусками через одну точку спостереження

(тобто, для 50 точок із 100). Шум отримали, обчислюючи наступні різниці

$$\xi(x) = S(x) - S(x), i = 7, 8, \dots, 20$$

Із спостережень (значень) шуму $\xi_i(x)$ по всіх 13 профілях було утворено двовимірний масив, який представляє однорідне та ізотропне випадкове поле $\xi(r, \varphi)$ на площині (r та φ – полярні координати точки x) із нульовим математичним сподіванням. До полів із такими властивостями можна застосувати метод статистичного моделювання випадкових полів на основі їх спектральних розкладів [4], який дає можливість за окремими значеннями їх реалізацій знайти досконале зображення полів на всій області спостережень. Тобто, згенерувавши додатково дані шуму в точках, в яких не

було проведено геомагнітних вимірювань, наприклад, із подвійною точністю з інтервалом через 50, а не 100 метрів, ми можемо накласти ці дані на сплайнову криву тренда $S_i^{(1)}(x)$ і для кожного профіля отримати більш детальну реалізацію даних аеромагнітної зйомки. Цей метод відрізняється від традиційних, які використовують в якості точки між відомими вузлами вимірювання усереднене значення сусідніх вузлів, тим, що враховується інформація про кореляційний зв'язок точок даних та про їх статистичний розподіл. Використання наведеного методу дає можливість доповнювати дані у тій частині області дослідження, де їх не вистачає, із урахуванням їх статистичної природи.

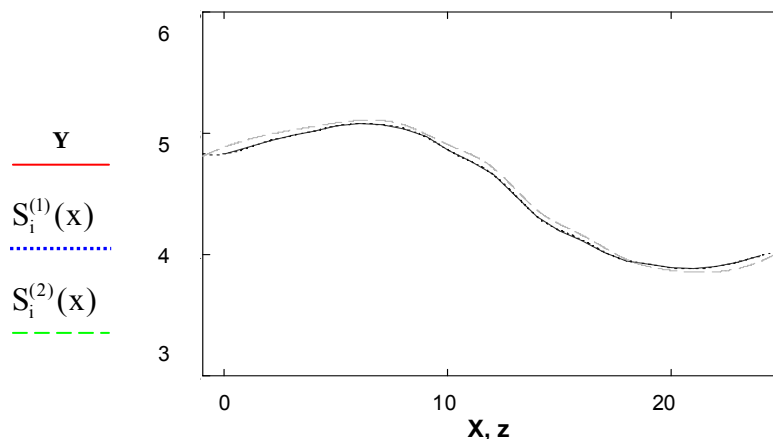


Рис. 2. Прологарифмовані вхідні дані та сплайн ΔT_{an} по ПР1

На основі побудованої гістограми для даних зроблено висновок про те, що щільність їх розподілу має наближено логарифмічно-нормальний вигляд (рис. 3, а). Це дає нам можливість прологарифмувати дані і звести їх до наближено нормально розподілених (рис. 3, б).

Таке перетворення дозволяє використати розроблений в [2-4] алгоритм для генерування на комп'ютері реалізацій імітованих даних із залученням згенерованих

них послідовностей нормально розподілених випадкових величин.

За допомогою програми GeoR емпіричну кореляційну функцію випадкового поля $\xi(r, \varphi)$, що досліджується, було наближено теоретичною кореляційною функцією $B(\rho)$ Бесселевого типу (1), де визначено відповідне оптимальне в середньоквадратичному розумінні значення параметра a ($a=3,5 \cdot 10^{-5}$).

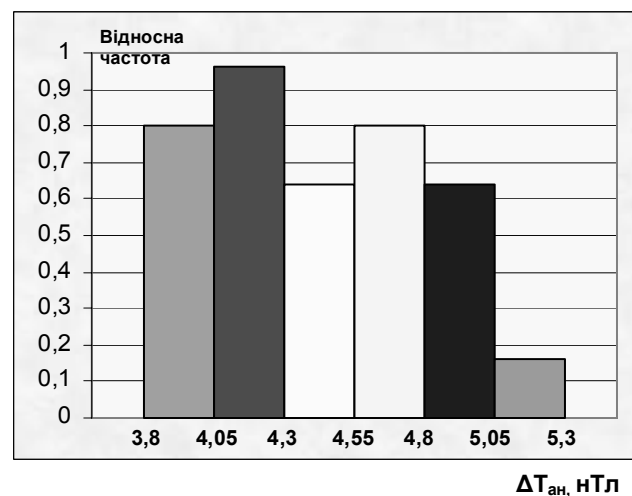
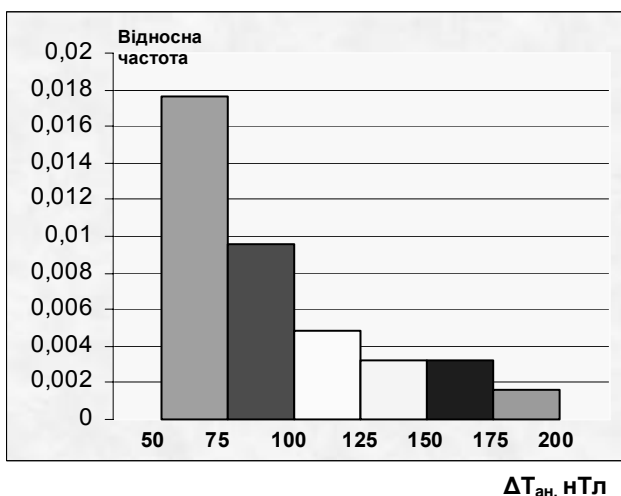


Рис. 3. Гістограма даних ΔT_{an} по ПР1: а) вхідних даних; б) прологарифмованих даних

На рис. 4 відображено графік відповідної підібраній кореляційній функції варіограми виділеного шуму (рис. 4,

а) та варіограми змодельованого шуму (рис. 4, б).

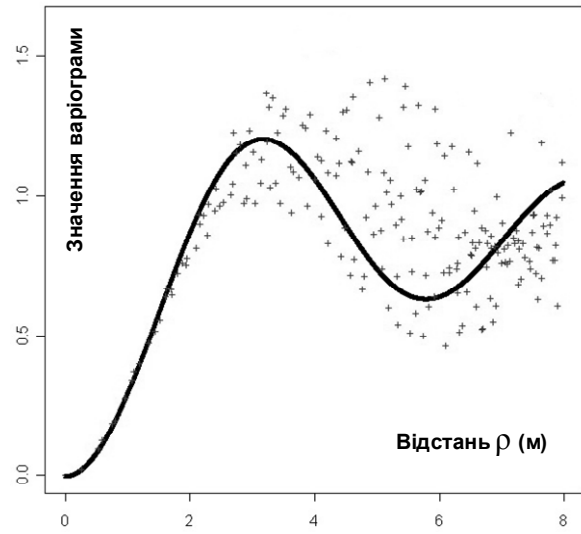
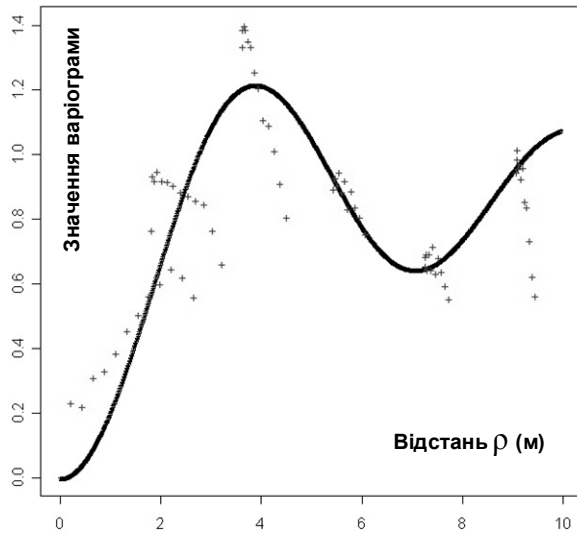


Рис. 4. Варіограма даних $\Delta T_{ан}$ по ПР7-ПР20, що відповідає кореляційній функції бesselевого типу $B(\rho) = \frac{2J_1(a\rho)}{a\rho}$, ($a \approx 3,25 \cdot 10^5$): а) випадкової складової; б) змодельованого шуму

Модель випадкового поля $\xi(r, \varphi)$ на площині із такою кореляційною функцією описується наступною формулою:

$$\xi_N(r, \varphi) = \sum_{k=0}^N \sqrt{v_k} b_k(r) [\zeta_k(r) \cos k\varphi + \eta_k(r) \sin k\varphi] \quad (3)$$

де:

$$v_k = \begin{cases} 1, & k=0; \\ 2, & k>0, \end{cases}$$

– r та φ ($r \in \mathbb{R}_+$, $\varphi \in [0, 2\pi]$) – полярні координати точки x на площині (належать області спостереження), причому, відстань ρ між точками площини

$x_1 = (r_1, \varphi_1)$ та $x_2 = (r_2, \varphi_2)$ буде рівною

$$\rho = \sqrt{r_1^2 + r_2^2 - 2r_1 r_2 \cos(\varphi_1 - \varphi_2)},$$

– N – деяке натуральне число (кількість доданків в моделі), значення якого визначається в залежності від заданого як заздалегідь малого числа ε (точності апроксимації) за допомогою нерівності із роботи [2], яка є оцінкою наближення випадкового поля $\xi(r, \varphi)$ частковими сумами $\xi_N(r, \varphi)$ в середньому квадратичному;

– $b_k(r)$, ($k=0, 1, 2, \dots, N$) – **спектральні коефіцієнти**, які відповідають підібраній кореляційній функції (2), і мають наступний вигляд:

$$b_k(r) = 2 [J_k^2(ar) - J_{k+1}(ar) J_{k-1}(ar)] \quad (k=1, 2, \dots, N) \quad (4)$$

– $J_k(x)$ – функція Бесселя першого роду порядку k , параметр a має те саме значення, що і кореляційна функція ($a \approx 3,5 \cdot 10^5$).

Процедура чисельного моделювання реалізацій поля шуму за наведеною вище моделлю (3) проводилась за допомогою програми **Spectr 2.1**, описаної в роботі [3].

При цьому значення числа N для побудованої моделі визначається за допомогою нерівності, яка є оцін-

кою наближення випадкового поля $\xi(r, \varphi)$ частковими сумами $\xi_N(r, \varphi)$ в середньому квадратичному. Таке N має відповідати наперед заданому як заздалегідь малому числу ε (точності наближення). Згадана нерівність отримана в роботі [2] і має наступний вигляд:

$$M [\xi(r, \varphi) - \xi_N(r, \varphi)]^2 \leq \frac{1}{\pi N} \left(\frac{1}{2} r \mu_1 + r^2 \mu_2 \right),$$

$$\text{де} \quad \mu_k = \int_0^\infty \lambda^k d\Phi(\lambda).$$

На основі моделі (3) та оцінки (5) було побудовано алгоритм статистичного моделювання гауссівського однорідного ізотропного випадкового поля $\xi(r, \varphi)$ на площині, яке задається своїми статистичними характеристиками: математичним сподіванням та кореляційною функцією $B(\rho)$ бesselевого типу (1).

Алгоритм.

1. Обчислюється значення числа $N=30$, відповідно наперед заданій точності ε ($\varepsilon=10^{-5}$), за допомогою нерівності (5):

$$\frac{1}{\pi N} \left(\frac{1}{2} r \mu_1 + r^2 \mu_2 \right) \leq \varepsilon \quad (6)$$

де r – радіус точки площини, в якій генерується реалізація випадкового поля $\xi(r, \varphi)$

2. Обчислюються спектральні коефіцієнти $b_k(r)$ ($k=0, 1, 2, \dots$) за формулою (4) для кореляційної функції (3).

3. Моделюються набори незалежних стандартних гауссівських випадкових величин $\{\zeta_k(r), k=0, 1, 2, \dots, N\}$ та $\{\eta_k(r), k=0, 1, 2, \dots, N\}$.

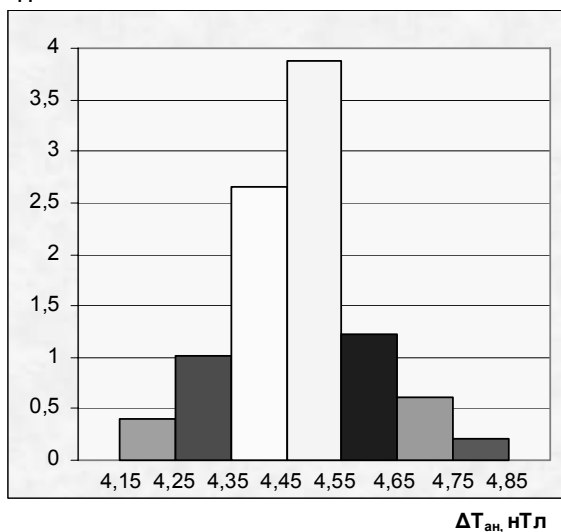
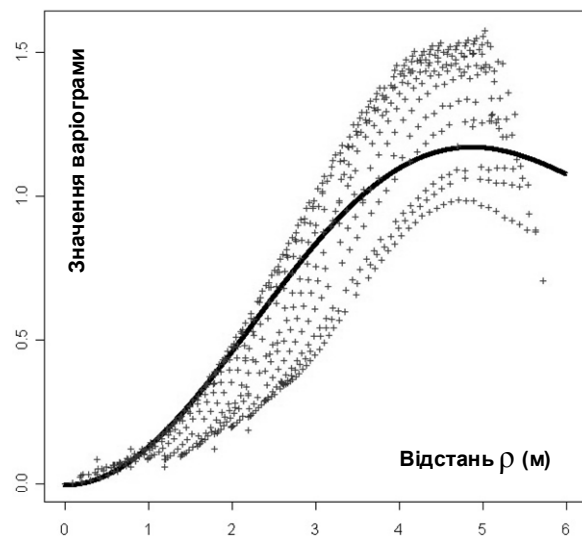
4. Обчислюються значення реалізації у вигляді суми (3) при підстановці в неї знайдених за попередніми пунктами величин.

5. Знаходиться статистична оцінка для кореляційної функції по отриманій реалізації випадкового поля

$\xi(r, \varphi)$ за допомогою програм **S-Plus**, **GeoR** і порівнюється із заданою кореляційною функцією $B(\rho)$, а також

проводиться статистичний аналіз цієї реалізації на адекватність (рис. 5, 6).

Відносна частота

Рис. 5. Гістограма прологорифмованих змодельованих даних $\Delta T_{ан}$ по ПР1Рис. 6. Варіограма масиву змодельованих та вхідних даних $\Delta T_{ан}$ по ПР7-ПР20, що відповідає кореляційній функції бesselового типу $B(\rho) = \frac{2J_1(a\rho)}{a\rho}$, ($a \approx 3,25 \cdot 10^5$)

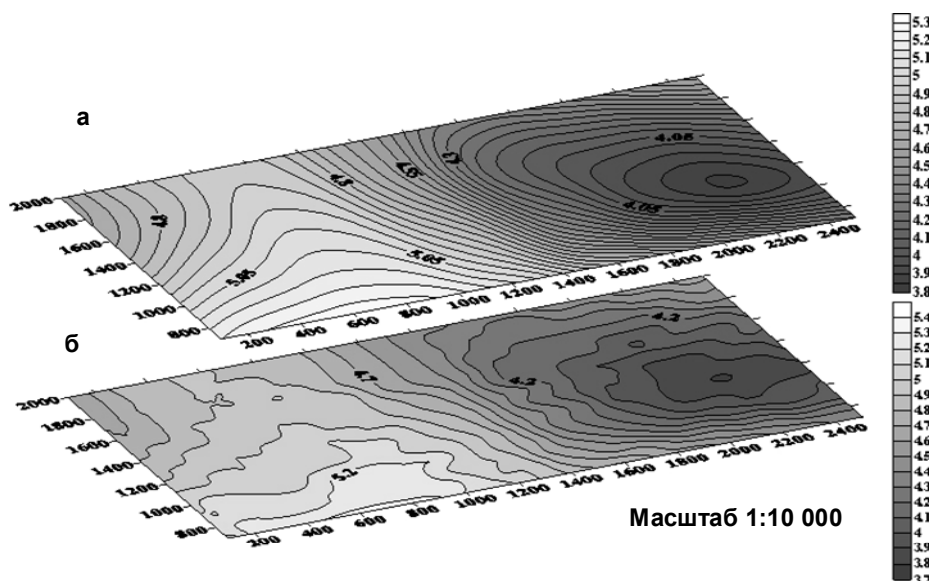
Слід відзначити, що наведений алгоритм можна застосувати і до випадкових полів з іншим типом розподілу. Тоді випадкові величини $\{\zeta_k(r), k=0, 1, 2, \dots, N\}$ та $\{\eta_k(r), k=0, 1, 2, \dots, N\}$ мають бути розподілені за відповідним законом.

За наведеним алгоритмом була отримана реалізація шуму на області дослідження із подвоєною деталістю (200 точок) по кожному профілю (13 профілів). При перевірці її на адекватність зроблено висновки, що відповідна гістограма шуму (рис. 5а) має гауссієвський розподіл. Побудована варіограма цієї реалізації має найкраще наближення теоретичною варіограмою, яка пов'язана із кореляційною функцією бesselового типу

(1) із параметром $a \approx 3,25 \cdot 10^5$, (рис. 4, б). Це підтверджує адекватність змодельованої реалізації.

Варіограма масиву змодельованих та вхідних даних $\Delta T_{ан}$ по ПР7-ПР20, що відповідає кореляційній функції бesselового типу (1) при значенні параметра $a \approx 3,25 \cdot 10^5$ наведена на рис. 6.

Завершальним етапом роботи було накладення масиву шуму на сплайнову апроксимацію реальних даних. В результаті цього отримано більш детальну реалізацію для даних геомагнітних спостережень у виділеній області. На рис. 7 наведено карти, які побудовано до чисельного моделювання та після доповнення масиву даних із подвоєною деталістю.

Рис. 7. Карта магнітного поля $\Delta T_{ан}$ (ПР7-ПР20): а) загальна; б) змодельованого магнітного поля

Висновок. Метод статистичного моделювання реалізацій випадкових полів дає можливість доповнити із заданою детальністю даними результати вимірювань повного вектора напруженості магнітного поля. Він може також застосовуватись для виявлення аномальних областей. При вивченні геомагнітних даних такі ділянки можна точніше виділити, якщо порівнювати реальні відхилення від ідеального змодельованого випадкового геомагнітного поля із властивостями однорідності та ізотропності.

УДК 556.314:004.9(477-25)

1. Chiles J.P., Delfiner P. Geostatistics: Modeling Spatial Uncertainty. John Wiley & Sons, Inc. New York, Toronto, -1999. 2. Grikh Z., Yadrenko M., Yadrenko O., About Approximation and Statistical Simulation of Isotropic Fields // Random Operators and Stochastic Equations, 1993, Vol. 1, No. 1, pp. 37-45. 3. Вижва С.А., Вижва З.О., Демидов В.К. Статистичне моделювання карстово-суфозійних процесів на території потенційно небезпечних об'єктів // Геоінформатика. – 2004. – №2. – С.78-85. 4. Вижва З.О. Математичні моделі в природознавстві. Розділ: Статистичне моделювання випадкових процесів та полів у науках про Землю. Навч. посіб. з дисципліни "Математичні моделі в природознавстві" для студентів мех.-мат. ф.-ту/ К., 2007.

Надійшла до редколегії 21.12.09

О. Кошляков, канд. геол.-мінералог. наук, Т. Кошлякова, асп.

ГЕОІНФОРМАЦІЙНА БАЗА ДАНИХ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ПИТНИХ ПІДЗЕМНИХ ВОД ДЛЯ ТЕРИТОРІЇ М. КИЄВА

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

Пропонується модель геоінформаційної бази даних хімічного складу підземних вод, що використовуються для питного водопостачання у Києві. Розроблена структура атрибутивної таблиці, котра містить показники хімічного складу, а також бактеріологічної якості води. Передбачається, що до таблиці будуть занесені існуючі дані за період з кінця XIX століття до теперішнього часу. Це дозволить оперативно оцінювати просторово-часові зміни якості води у відповідності до чинних в Україні гігієнічних та екологічних вимог (Національний стандарт України ДСТУ 4808:2007).

Geoinformation database model of chemical composition for underground water used as potable water source of Kyiv is proposed. Structure of attributive table, contains chemical composition quantities and bacteriological quality measures, is developed. The table will contain available data from the end of XIX century to the present. It allows to make the efficient estimation of water quality spatio-temporal changes as provided by active in Ukraine hygienic and ecological charges (The national standard of Ukraine 4808:2007).

Постановка проблеми. Вивчення компонентного складу підземних вод, що використовуються для водопостачання, є актуальним завданням для спеціалістів гідрогеологів, екологів, а також медиків. Використання напірних підземних вод для питного водопостачання на території такого великого мегаполісу, як місто Київ, не має аналогів в Україні. У Києві функціонує близько 170 бюветних комплексів, якість води яких постійно контролюється, тобто здійснюється моніторинг. Однак існуюча система моніторингу є суто фактографічною, вона не передбачає здійснення просторово-часової оцінки змін хімічного складу підземних вод, так само як і прогнозування таких змін.

На території Києва експлуатуються води наступних водоносних горизонтів: водоносний горизонт у відкладах іваницької світи середньої та верхньої юри і загорівської, журавинської, буромської світ нижньої та верхньої крейди ($J_{2-3}iv + K_{1,2}zg-br$) та водоносний горизонт у відкладах орельської світи середньої юри (J_{2or}). Назви водоносних горизонтів наведені за сучасною схемою стратифікації. Вони відповідають водоносному комплексу сеноман-келовейських відкладів та водоносному горизонту байоських відкладів за попередньою схемою гідрогеологічної стратифікації. Підземні води, що подаються до бюветів, поступають безпосередньо з глибини 90-337 м.

Протягом десятиліть спостережень за хімічним складом питних підземних вод на території міста накопичений великий обсяг інформації. З метою обробки згаданої інформації, виявлення закономірностей просторово-часових змін хімічного складу та встановлення причин таких змін доцільно застосувати сучасні геоінформаційні технології.

Аналіз проблеми. Використання геоінформаційних технологій з метою обробки результатів гідрогеологічних досліджень дозволяє значно підвищити ефективність робіт, що виконуються. Проте в останні роки, не дивлячись на бурхливий розвиток апаратно-програмних засобів, розвиток нових методик обробки гідрогеологічних даних суттєво уповільнився. Великою мірою це пов'язано з відсутністю єдиної багаточислової системи

збору, зберігання, контролю, поповнення та переробки гідрогеологічної інформації [7].

Таким чином, проблема зберігання гідрогеологічних даних з метою наступного комплексного аналізу є надзвичайно важливою та актуальною. На сьогодні задача зберігання даних успішно вирішується за допомогою геоінформаційних систем (ГІС). ГІС, що застосовуються на практиці, дозволяють організувати збереження інформації, зокрема картографічної, а також використовувати її для побудови математико-картографічних моделей та виявлення на цій основі просторово-часових закономірностей. У рамках ГІС зберігається також семантична інформація, прив'язана до картографічних об'єктів – їх основні характеристики у табличній формі. Основною складовою частиною будь-якої ГІС є геоінформаційна база даних.

Технології створення регіональних та цільових баз даних геологічної інформації були запропоновані ще у 80-ті роки XX століття [5].

Зокрема, в процесі оцінки екологічного стану геологічного середовища та картографування одержаних результатів, пропонується перш за все максимально використовувати геологічні, гідрогеологічні, інженерно-геологічні, геохімічні, геофізичні дані як в паперовому, так і електронному вигляді, та матеріали їх обробки, в тому числі комп'ютерної. Зважаючи на це, комп'ютерне супроводження цих досліджень передбачає створення: баз первинних фактографічних даних (показників, параметрів, характеристик окремих компонентів геологічного середовища, які можуть бути використані для визначення його екологічного стану), баз картографічних даних (просторового розподілу характеристик геологічного середовища, які можуть бути використані для оцінки та районування його екологічного стану), баз даних техногенних об'єктів, які впливають чи можуть впливати на екологічний стан геологічного середовища, бази даних нормативних показників, бази даних щодо екологічного стану суміжних із геологічним середовищем природних середовищ та природно-техногенних систем, цифрові карти екологічного стану геологічного середовища. Створені бази даних дозволяють в подальшому виконувати різнобічну комп'ютерну обробку та інтерпретацію фактографічної та картографіч-

ної інформації, створення похідних, допоміжних (службових) карт, схем, графіків, тематичних таблиць. На початковому етапі робіт зі створення фактографічних геоінформаційних баз даних необхідно звернути увагу на розробку її структури, враховуючи те, що бази даних повинні забезпечувати реалізацію комп'ютерних процедур перетворення даних і вирішення конкретних задач щодо оцінки екологічного стану геологічного середовища або його компонентів [6]. В.А. Алексєєв, М.В. Телєгіна та М.В. Цапок запропонували систему обробки даних екологічного моніторингу, що використовує растрові картографічні зображення і передбачає створення та редагування баз знань [1].

В останні роки Державною регіональною геологічною установою "Північгеологія", а також Інститутом колоїдної хімії ті хімії води ім. А.В. Думанського було обстежено більш ніж 300 експлуатаційних та буювних свердловин, виконано і статистично оброблено велику кількість хімічних аналізів підземних вод з водоносного горизонту у відкладах іваноцької світи середньої та верхньої юри і загорівської, журавинської, буромської світи нижньої та верхньої крейди та водоносного горизонту у відкладах орельської світи середньої юри. Досліджувалися: вміст у питних підземних водах K, Ca, Mg, Fe, NH₄, Cl, SO₄, NO₃, NO₂, CO₃, HNO₃, PO₄, F, SiO₂, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, Cd, Be, V, Sr, pH, мінералізація, загальна і карбонатна твердість, а також вміст природних (²²⁶Ra, U, ²²²Rn) та штучних (⁹⁰Sr і ¹³⁷Cs) радіонуклідів.

Зокрема, було встановлено, що підземні води водоносного горизонту у відкладах іваноцької світи середньої та верхньої юри і загорівської, журавинської, буромської світи нижньої та верхньої крейди в районі Києва переважно належать до гідрокарбонатного кальцієвого або кальцієво-натрієвого типу. Зафіксовано одиничні факти перевищення ГДК у підземних водах за вмістом марганцю та показником "загальна твердість". Зроблено висновок про те, що виявлені кореляційні зв'язки між окремими компонентами хімічного складу підземних вод мають виключно природне походження [2].

Метою діючого моніторингу питних підземних вод для території м. Києва є отримання найбільш повної інформації про особливості хімічного складу підземних вод, своєчасне виявлення забруднення води та його причин, оцінка якості води з урахуванням санітарно-гігієнічних вимог. Тобто, діюча система моніторингу є фактографічною, вона не призначена для просторово-

часової оцінки змін хімічного складу підземних вод, так само як і для його прогнозування.

Методика та результати досліджень. З метою узагальнення накопичених протягом десятиліть даних по хімічному складу підземних вод, а також просторової оцінки зміни їх якості, пропонується використати географічні інформаційні системи (ГІС).

ГІС, являючись просторовими базами даних, забезпечені засобами часового та просторового аналізу інформації, а також математико-картографічного моделювання. Саме наявність сукупності специфічних методів аналізу з використанням як просторових, так і непросторових атрибутів об'єктів, здатних генерувати нові знання про об'єкти досліджень, визначає головну відмінність ГІС-технології від технологій автоматизованого картографування або ж систем автоматизованого проектування [3].

Першим кроком при використанні ГІС є створення просторової бази даних. Авторами пропонується модель геоінформаційної бази даних хімічного складу питних підземних вод, що використовується для водопостачання населення Києва. Розроблена структура атрибутивної таблиці, що містить показники хімічного складу та бактеріологічної якості води не тільки по сучасним, але і по архівним (з кінця XIX століття) даним. Дані таблиці дозволяють оцінювати якість води у відповідності з прийнятими в Україні гігієнічними та екологічними вимогами (Національний стандарт України ДСТУ 4808:2007).

Основою для створення бази даних слугує електронна карта міста Києва у середовищі MapInfo Professional (масштаб 1:10 000, проекція GK, зона 6, Пулково 1942).

Наповнення атрибутивної таблиці вже виконано для водоносного горизонту у відкладах іваноцької світи середньої та верхньої юри і загорівської, журавинської, буромської світи нижньої та верхньої крейди за архівними даними кінця XIX – початку XX століття [2], та фондowymi і друкованими даними початку XXI століття [2, 8]. Зважаючи на те, що на період кінця XIX – початку XX століття хімічний аналіз виконувався лише для основних макрокомпонентів та показників якості води, до таблиці були занесені тільки такі показники як мінералізація, NH₄, Cl, SiO₂, SO₄, NO₂, NO₃, окислюваність та твердість. Також відмічаються номер свердловини по порядку, номер самої свердловини або назва вулиці, на якій вона розташована, дата відбору проби води (рис. 1).

	Namb	Namb_org	Year	miner	NH4	CL	SiO2	SO4	NO2	NO3	O	zhestkost
☐	1	Hryakov	22.01.1894	363,800	0,450	8,000	30,000	2,040	0,000	0,000	0,990	5,710
☐	2	Mencer	07.03.1893	290,300	0,020	2,800	17,000	1,400	0,000	0,300	2,400	4,190
☐	3	Skotoboyni	23.09.1894	404,000	0,175	4,290	22,800	3,780	0,000	0,000	1,110	7,420
☐	4	Poznyakova	26.06.1895	348,700	0,346	5,450	30,900	0,860	0,000	0,000	0,880	5,600
☐	5	Vodosnabzh	21.05.1896	354,600	0,340	3,890	0,000	2,660	0,000	0,000	1,320	5,640
☐	6	Mencer	15.02.1893	340,400	0,250	4,240	29,700	1,200	0,000	0,000	0,000	5,440
☐	7	Vodosnabzh	22.04.1897	347,000	0,300	3,870	30,200	0,000	0,000	0,000	2,100	5,530
☐	8	18_1	01.01.1937	293,800	0,210	25,900	0,000	14,900	0,000	0,000	1,680	7,300
☐	9	18_2	01.06.1940	293,800	0,210	22,500	0,000	14,900	0,000	0,000	1,680	7,300
☐	10	18_3	01.11.1940	432,000	0,350	22,000	0,000	24,600	0,000	0,000	0,740	7,300
☐	11	18_4	03.04.1945	432,000	0,270	26,500	0,000	24,600	0,000	0,000	1,600	7,300
☐	12	19_1	04.07.1915	372,700	0,450	5,850	0,000	2,040	0,000	0,000	1,000	6,010
☐	13	19_2	01.01.1937	307,000	0,450	25,200	0,000	27,400	0,000	0,000	1,700	7,450
☐	14	19_3	03.10.1940	451,300	0,480	28,000	0,000	27,400	0,000	0,000	1,700	7,450
☐	15	19_4	01.06.1944	451,300	0,330	31,500	0,000	27,400	0,000	0,000	1,770	7,450
☐	16	20	01.01.1927	372,500	0,000	24,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,600	4,440
☐	17	22_1	29.07.1915	359,800	0,420	5,500	0,000	3,960	0,000	0,000	0,900	5,700

Рис. 1. Фрагмент атрибутивної таблиці з даними у середовищі MapInfo Professional

На даний час ведеться робота по наповненню атрибутивної таблиці результатами хімічних аналізів води, виконаних для водоносного горизонту у відкладах орельської світи середньої юри.

Висновки. Створення геоінформаційної бази даних хімічного складу питних підземних вод м. Києва надасть можливість реалізації цілого спектру різноманітних задач з метою виявлення закономірностей просторово-часових змін хімічного складу та встановлення причин таких змін: математико-статистична обробка, транслювання даних до інших географічних інформаційних систем, побудова картографічних зображень (ізолінії, TIN та GRID поверхні тощо), математико-картографічне моделювання (зокрема, оверлейний аналіз), кількісне та якісне порівняння, прогнозування на основі математичного моделювання.

Запропонована структура атрибутивної таблиці дозволяє підходити до наявної гідрогеологічної інформації комплексно і системно, перейти на більш високий якіс-

ний рівень при роботі з результатами аналізів хімічного складу підземних вод.

1. Алексеев В.А., Телегина М.В., Цапков М.В. Система сбора и обработки данных экологического мониторинга / Геоинформатика. – М., 2008. – №3. С. 17-20.
2. Бювети Києва. Якість артезіанської води / За ред. акад. Гончарука В.В. – К., 2003.
3. Ішук О.О., Коржнев М.М., Кошляков О.Є. Просторовий аналіз і моделювання в ГІС: Навч. посіб. / За ред. акад. Д.М.Гродзинського. – К., 2003.
4. Коклик С.Г. Подземные воды г. Киева. – К., 1909.
5. Ломтадзе В.В., Королева А.В. Идеология и технология создания и использования региональных баз геолого-геофизических данных / Геоинформатика. – М., 2009. – №1. – С. 52-56.
6. Почтаренко В.І., Саніна І.В., Люта Н.Г. Оцінка екологічного стану геологічного середовища із застосуванням ГІС-технологій / Геоинформатика. – К., 2002. – №1. – с. 20-33.
7. Сірченко В.В., Ярош В.І., Приходченко Є.К. Формування регіонального геолого-геофізичного банку даних ДГП "Укргеофізика" з використанням елементів ГІС-технологій / Геоинформатика. – К., 2002. – №1. – с. 95-99.
8. Звіт про НДР: "Розробка схеми розвитку системи водопостачання м. Києва за рахунок підземних вод на період до 2020 року". Авт. – Шестопалов В. М., Руденко Ю. Ф., Нікіташ О. П. та ін. (Договір №45/03 від 1 грудня 2003 року). – К., 2003.

Надійшла до редколегії 02.12.09

УДК 550.83+550.832,5

О. Асташкіна, асп.

КАДАСТР МАЙДАНЧИКІВ ПІД БУДІВНИЦТВО НОВИХ ЕНЕРГОБЛОКІВ АЕС З ВИКОРИСТАННЯМ СУЧАСНИХ ГІС-ТЕХНОЛОГІЙ

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

Розглядається підхід до систематизації граничних факторів створення Кадастру майданчиків під будівництво нових енергоблоків АЕС з використанням сучасних ГІС-технологій.

Going is examined near systematization of maximum factors of creation Cadastre of grounds for building new power units of Nucleas Power Plants using modern GIS-technologies.

Енергетична стратегія України на період до 2030 року, яка схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 15.03.2006 №145-р, передбачає значне зростання потужностей АЕС, у тому числі і за рахунок будівництва атомних енергоблоків на нових майданчиках. На даний час в Україні відсутні узгоджені та затверджені документи, в яких визначені майданчики для можливого розміщення АЕС. У зв'язку з цим, надзвичайно актуальним завданням є створення Кадастру майданчиків під будівництво енергоблоків нових атомних електростанцій.

КІВД "Енергопроект", як структурний підрозділ ДП НАЕК "Енергоатом", є головною організацією по визначенню інженерних умов і вибору пунктів і площадок для будівництва нових енергоблоків АЕС. Київський національний університет імені Тараса Шевченка є провідною організацією, що займається розробкою системи моніторингу геологічного середовища з використанням геоінформаційних систем. Приймаючи до уваги вищезазначене, автором поставлена задача узагальнення наробок КІВД "Енергопроект" та підготовки Кадастру майданчиків під будівництво нових енергоблоків АЕС на основі сучасних ГІС-технологій.

Кадастр майданчиків АЕС – зведення систематизованих відомостей щодо майданчиків, які за попередньою оцінкою визнані придатними для розміщення АЕС, з метою їх збереження для реалізації довгострокових програм з розвитку атомної енергетики [1].

Цілі та задачі "Кадастру майданчиків під будівництво нових енергоблоків АЕС":

- визначення оптимальних територій для ймовірного розміщення майданчиків АЕС;
- визначення попередніх техніко-економічних показників АЕС на обраних майданчиках;
- узгодження принципової можливості розміщення АЕС на обраних майданчиках із зацікавленими органами;

- закріплення територій для ймовірного розміщення майданчиків АЕС за Мінпаливенерго відповідно до чинного законодавства.

АЕС, які будуть розміщені на обраних майданчиках, повинні забезпечувати максимальну ефективність вироблення електроенергії з дотриманням ядерної та радіаційної безпеки, за найкращих умов постачання електроенергії споживачам з урахуванням загальної потужності, вартості експлуатації та зняття з експлуатації.

Для вибору території розміщення пунктів необхідно проаналізувати велику кількість факторів, до складу яких входять природні умови. Вхідними даними для виконання робіт є матеріали та документи отримані в державних відомствах, архівах, науково-дослідних і проектних інститутах.

Аналіз матеріалів для створення Кадастру майданчиків розміщення нових АЕС виконується в декілька етапів шляхом районування території України з урахуванням різних граничних і обмежувальних факторів, що обумовлюють забезпечення безпеки АЕС та економічної доцільності будівництва енергоблоків на відібраному майданчику.

Передбачається послідовний розгляд умов та можливостей розміщення майданчика АЕС, розпочинаючи з території всієї України та поступово наближуючись до території пункту та майданчика.

Комплексне районування території України є першим етапом Кадастру майданчиків розміщення нових АЕС. Метою комплексного районування є визначення районів в яких розміщення АЕС з різних граничних факторів неприпустиме, або недоцільне та районів можливого розміщення АЕС. Як граничні розглядаються такі фактори впливу на АЕС [2]:

- Існуючий стан енергосистем (ЕС) України.

Райони енергосистем, де на період до 2030 р. створюється значний дефіцит генеруючих потужностей роз-

глядаються як першочергові для розміщення майданчиків АЕС. Інші райони можливого розміщення АЕС розглядаються в другу чергу.

- Економіко-демографічний.

Відповідно до вимог чинного законодавства, відстань від майданчика АЕС до межі міста з населенням – більше 2 млн. повинна бути не менше 100 км, а для міст з населенням 1,5 – 2,0 млн. – 40 км. Також не допускається розміщення майданчика АЕС на території, де щільність населення, яке проживає в зоні радіусом 25 км. навколо майданчика перевищує 100 чоловік на квадратний кілометр.

- Сейсмічний.

Згідно з картою ЗСР-2004, частина території України належить до зони з інтенсивністю сейсмічного впливу 8 балів по шкалі МСК-64. Ці території, відповідно до вимог нормативних документів, виключені з подальшого розгляду, як такі, на яких розміщення АЕС не допускається. Для території України, де інтенсивність сейсмічних впливів знаходиться в межах 7 балів і менше, зібрана інформація про сейсмологічні та сеймотектонічні умови, а також про особливості тектонічної будови.

- Гідрологічний.

Згідно з "Вимогами до створення кадастру майданчиків під будівництво енергоблоків нових атомних електростанцій", розроблених ВАТ КІЕП та затверджених Міністром палива та енергетики України в 2008 році, розміщення АЕС не допускається в районах, де неможливо (або недоцільно економічно з урахуванням всіх інших факторів) забезпечити компенсацію втрат води в системах охолодження атомних енергоблоків.

- Екологічний.

На території природних заповідників та районів радіаційного забруднення забороняється розміщення майданчиків АЕС.

На другому етапі розробки Кадастру майданчиків під будівництво нових енергоблоків АЕС проводиться збір даних по території кожної ЕС України (за винятком районів, де на підставі матеріалів виконаних на першому етапі роботи, розміщення АЕС з різних граничних факторів недопустиме або недоцільне) за такими факторами:

- економіко-демографічні фактори (населення та населені пункти, промисловість, об'єкти охоронного призначення, сільське господарство), умови організації техводопостачання, транспортні умови, умови організації будівництва;
- природні та географічні умови (топографо-геодезичне забезпечення, ґрунтовий покрив, рослинність, тваринний світ, інженерно-геологічні умови, сеймотектонічні умови, гідрогеологічні умови, метеорологічні та кліматичні умови);
- екологічні умови.

Проводячи аналіз інформації, окремо по кожній ЕС, виокремлюються території сприятливі для розміщення майданчиків нових АЕС.

На третьому етапі за результатами аналізу, проведеного на етапі 2, для визначених пунктів та майданчиків можливого розміщення АЕС надається детальна характеристика стосовно:

- Особливостей рельєфу:
 - типи рельєфу;
 - абсолютні позначки;
 - нахили земної поверхні та їх напрям;
 - характерні елементи рельєфу (яри, обриви, пониження поверхні, розчленування території і т. ін.).
- Ґрунтового покриву та рослинності.
- Геоморфологічної приуроченості:
 - приналежність до таксонометричної одиниці і порядку;

- приналежність до долини ріки чи вододілу;
- розташування на одному чи декількох геоморфологічних елементах;
- у разі розташування у долині ріки – опис характеру долини: ширина та абсолютні відмітки заплави, кількість надзаплавних терас, їхнє поширення, похили поверхні землі.

- Сеймотектонічних умов:

- інструментально зареєстровані, історичні, древні землетруси та палеоземлетруси;
- параметри зон виникнення вогнищ землетрусів;
- схематичне розміщення геодинамічних зон та зон розривних порушень;
- протяжність активних розломів і розмірів активних тектонічних структур (довжина, глибина), сейсмічна активність;
- взаємозв'язок активних розломів з більш крупними тектонічними структурами;
- тектонічні деформації за четвертинний період;
- амплітуди, швидкості і градієнти новітніх та четвертинних диференційованих рухів земної поверхні.

- Геологічної будови:

- перелік нашарувань до кристалічного фундаменту (більш детально – до глибини ~60 м.) різних геолого-літологічних комплексів, – їхній вік, генезис;
- літологічна характеристика шарів ґрунтів в активній зоні основ фундаментів: дисперсні (великоуламкові, піщані, глинисті), скельні; діапазон коливання потужності шарів.

- Наявність ґрунтів з особливими властивостями:

- просідних;
- набухаючих;
- з домішкою органічних речовин;
- заторфованих та торфу;
- засолених;
- глинистих текучої консистенції;
- пухких піщаних;
- насипних неоднорідних.

- Наявності несприятливих фізико-геологічних процесів, а саме:

- наявність карстуючих порід;
- суфозійні чи карстово-суфозійні процеси;
- можливість зсувів;
- наявність болотних ділянок;
- прояви ерозії чи абразії;
- осідання земної поверхні;
- заболоченість;

- Загальних гідрогеологічних умов:

- приналежність до артезіанського басейну;
- кількість водоносних комплексів та горизонтів, більш детально – до глибини -60 м;
- глибина рівня ґрунтових вод, наявність напірних водоносних горизонтів в активній зоні основ фундаментів; характеристика останніх;
- наявність водотривких шарів;
- взаємозв'язок водоносних горизонтів;
- потенційне підтоплення території.

- Несприятливих факторів, які є звичайними для більшої частини території України:

- інтенсивний льодохід, зашугованість русла водотоків;
- різкі добові коливання рівня води в період льодоставу;
- значні (більше 4-5 м) щорічні амплітуди рівня води джерела водопостачання;
- значне (до 28 °С і більше) щорічне прогрівання води джерела водопостачання та водоприймача;
- високі показники окремих гідрохімічних інгредієнтів у воді джерела водопостачання АЕС.

• Метеорологічних і аерометеорологічних факторів у тому числі і несприятливих.

- температура та вологість повітря;
- атмосферні опади;
- атмосферний тиск;
- вітровий режим;
- атмосферні явища.

Очевидно, що для вирішення зазначених задач необхідна інформаційна база даних, яка б забезпечувала введення, редагування та постійне поповнення інфор-

мації, вирішення інформаційно-пошукових задач та видачу звітних матеріалів.

Автором на основі програмного пакету MapInfo Professional, за результатами 3-го етапу робіт, здійснених ДП КІВД Енергопроект, створена база даних, яка включає дані про топографічні, сейсмічні, тектонічні, геологічні та гідрогеологічні умови пунктів. База даних створена з метою збільшення зручності та швидкості аналізування інформації. Приклад візуалізації інформації перспективного пункту розташування АЕС показано на рис. 1.

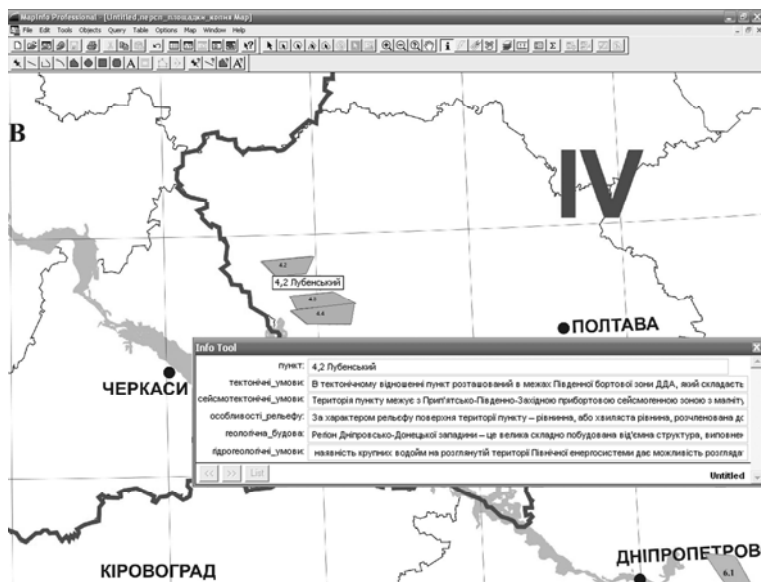


Рис. 1. Приклад швидкого збору/перегляду інформації по одному з перспективних пунктів розташування АЕС

Також по кожному з пунктів доступна інформація у вигляді карт. Так на рис. 2, як результат створення запиту по сейсмотектонічним умовам для пункту 4.2, наведено приклад отримання фрагменту карти районування території України за сейсмотектонічними умовами.

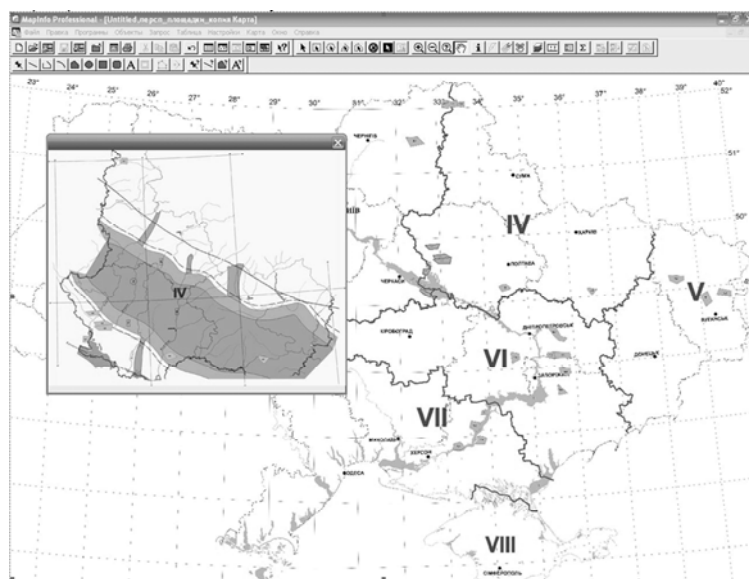


Рис. 2. Результат створення запиту по сейсмотектонічним умовам для пункту 4.2

Передбачається подальше наповнення бази даних та використання на четвертому (порівняння найбільш перспективних пунктів розташування майданчиків нових АЕС) та п'ятому (детальна характеристика відібраних пунктів) етапах.

Також можливе подальше поповнення бази даних не тільки даними про природні умови, а також про існуючий стан енергетики, економіко-демографічні умови, та ін., тобто накопичити інформацію в повному обсязі по кожному з перспективних пунктів.

Представлена робота дозволяє вирішувати задачі зберігання, оперативного доступу, обробки, аналізу та використання інформації Кадастру майданчиків під будівництво нових енергоблоків АЕС.

1. Оцінка придатності майданчика для будівництва ядерних установок" (NS-R-3, 2003). 2. Руководство по выбору пункта и площадки строительства атомной станции" (п. 4.2 СПП НА7-87), – М. 1989. 3. Детальна характеристика пунктів, які рекомендуються для включення в "Кадастр майданчиків." та розміщення майданчиків в кожному пункті. Звіт в 2 книгах. – К.: ДП КІВД "Енергопроект, 2010.

Надійшла до редколегії 25.12.09

УДК 551.311.235.2

М. Фріндт, асп.

МЕТОДИКА ВИКОРИСТАННЯ ГІС ДЛЯ ОЦІНКИ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА УТВОРЕННЯ ЗСУВІВ АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ СІМФЕРОПОЛЬ-ЯЛТА-СЕВАСТОПОЛЬ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол.- мінералог. наук, проф. В.В. Шевчуком)

В статті запропоновано методику використання ГІС для оцінки факторів впливу на утворення зсувів. Розроблено концептуальну модель. Наведено структуру бази даних та процес створення поверхонь природних та техногенних факторів впливу.

In this paper the method of the use GIS is offered for an estimation of influence factors on landslide formation. The conceptual model is developed. The structure of a database and process of surfaces creation of natural and technogenic factors influence is shown.

Вступ. Кримський півострів характеризується складними геоморфологічними умовами, що характерні для гірських територій. Тут виникає постійна загроза виникнення нових та активізації існуючих екзогенних геологічних процесів. Особливе місце серед них займають зсуви. На сьогодні їх кількість близько 1600, з яких більше 450 вважаються активними [1, с. 20]. Значної шкоди зсуви завдають автомобільним дорогам, спричинюючи деформації земляного полотна, а в деяких випадках і повну руйнацію проїзної частини.

Постановка проблеми. Вивченням зсувних зміщень в гірських регіонах України займався багато авторів, серед них можна виділити Ємельянову Є.П., Герасимчука В.О., Круцика М.Д., Єриша І.Ф., Саломатіна В.М., Казарновського В.Д., Коробанову І.Г., Рудька Г.І та ін. Також багато організацій проводили вишукування на зсувних ділянках вздовж автомобільних доріг.

Об'єктом дослідження є автомобільна дорога Сімферополь-Ялта-Севастополь, де ще при будівництві виникло багато зсувів. Обумовлено це складними геоморфологічними та інженерно-геологічними умовами, які є характерними для району досліджень.

Для роботи використано карту-схему зсувів на дорогах Південного берега Криму та дані інженерно-геологічних досліджень зсувів, проведені ДП "Укрдіпродор". Вишукування супроводжувалися паспортизацією зсувних ділянок. Інженерно-геологічний паспорт містить інформацію про розміщення ділянки зсуву, а саме на якому кілометрі автомобільної дороги розташований зсув, план ділянки в масштабі 1:5000, опис пошкодження земляного полотна, глибини площин ковзання, глибини залягання корінних порід, довжину та ширину зсуву, ґрунти тіла зсуву, форму, причини виникнення та рекомендації.

З появою географічних інформаційних систем стало можливим створення єдиної бази даних, яка б вміщувала в атрибутивних таблицях всю накопичену інформацію, з моменту формування зсувних тіл. Передусім необхідним є створення концептуальної моделі. Реалізація такого проекту дає можливість виконувати моделювання та багатофункціональний аналіз в програмному середовищі ESRI ArcGIS 9.2.

Мета статті. Запропонувати методичні прийоми застосування ГІС-технологій для оцінки факторів впливу на утворення зсувів автомобільної дороги.

Виклад основного матеріалу. Загальновідомо, що зсуви виникають завдяки поєднанню природних та техногенних факторів, до них відносять кліматичні особливості району, гідрологічний режим водоймищ та річок,

рельєф місцевості, геологічна будова схилів та відкосів, сучасні та новітні тектонічні рухи та сейсмічні явища, гідрогеологічні умови району, розвиток супутніх екзогенних процесів та явищ, особливості фізико-механічних властивостей гірських порід, інженерна діяльність людини [4].

Для автомобільної дороги Сімферополь-Ялта-Севастополь природними факторами впливу є геологічна будова, рельєф місцевості, кількість води в ґрунтового масиві (атмосферні опади), тектонічні умови; техногенними – навантаження, що виникає під час руху транспорту, порушення граничної рівноваги схилів, зміна фізико-механічних властивостей ґрунтів під час будівництва доріг, створення штучних водоймищ на схилах, витоки води із водовідводів та каналізаційних мереж, інтенсивний полив [3, с. 37]. Оцінити кожен з факторів та одночасний вплив природних та техногенних умов на утворення зсувів можливо за допомогою використання геоінформаційних систем.

Геоінформаційні системи вміщують функції та інструменти, необхідні для вводу, збереження, аналізу та візуалізації просторової інформації [2]. На сьогодні, ГІС широко використовуються для вивчення зсувних процесів.

Сучасні ГІС є потужним засобом для виконання різноманітних операцій з географічними об'єктами. В загальному їх об'єднують в такі аналітичні операції: аналіз геометрії об'єктів, аналіз місцезоположення, дистанційний аналіз, класифікація, картографічне накладання, аналіз поверхонь [2, с. 30]. Для вивчення факторів впливу необхідним є використання таких аналітичних операцій, як класифікація, картографічне накладання та аналіз поверхонь.

Для оцінки факторів впливу на утворення зсувів автомобільної дороги, враховуючи обрані аналітичні операції, запропоновано певну методику застосування ГІС.

Методика застосування ГІС включає декілька етапів робіт:

- збір та систематизація даних ділянки досліджень;
- сканування карт їх реєстрація та оцифровка, введення інформації у табличній формі в базу даних;
- інтеграція даних в середовище ArcGIS;
- побудова цифрових та растрових моделей;
- використання методів класифікації;
- застосування картографічного накладання;
- аналіз поверхонь.

Основним і найбільш об'ємним етапом є накопичення інформації та створення бази даних.

Створення цифрової бази даних відбувається поетапно – введення даних, завантаження в базу та управління базою даних. Введення даних включає оцифровку та перетворення даних з інших систем та форматів у використовуваний формат – це сканування карт, реєстрація зображень, створення таблиць та введення даних з паперових носіїв. Управління базою даних є перевірка системи координат та з'єднання шарів.

Реєстрація та оцифровка відсканованого зображення відбувається в програмному засобі MapInfo

Professional 8. Існуючу інформацію, що є доступною для оцифровки, умовно можна поділити на дві категорії. До першої відноситься інформація, що має природний характер, – це фактори впливу природного походження, до другої – фактори, що мають описовий, фактографічний характер. Структуру бази даних можна представити у вигляді таблиць та атрибутивної інформації, що показана в табл. 1.

Таблиця 1. Структура бази даних

Назва таблиці	Назва атрибуту – тип локалізації
Інформація природного характеру	
Рельєф	Горизонталі – лінійний; ями, яри – точкові, площинні; відмітки висот, скелі – точкові
Геологічна та тектонічна будова	Четвертинні та дочетвертинні відклади – площинний; розломи – лінійний
Гідрографія	Річки, струмки, канали, джерела – лінійний, точковий
Рослинність	Поширення виду – площинний, окремі дерева, чагарники – точковий, рослинність вздовж дороги – лінійний
Атмосферні опади	Кількість – точковий, площинний
Сейсмічна активність	Бали – точковий
Фактографічна інформація	
Розміщення автомобільної дороги	Протяжність – лінійний
Характеристики траси	Пікети, категорія, транспортне навантаження, розміщення кар'єрів, техніко-економічні показники, ширина – точковий
Населені пункти	Міста – площинний
Зсуви	Кадастровий номер, вік, розміщення, параметри, зсувні ґрунти – точковий
Транспортне навантаження	Точковий
Наявність штучних споруд	Мости, транспортні розв'язки – лінійні; водопропускні труби, перевали – точкові

Кожна таблиця бази даних вміщує атрибутивну інформацію, тобто якісні та кількісні характеристики об'єкту. Вся інформація бази даних на карті відображається у вигляді точкових, лінійних та полігональних (площинних) об'єктів [2, с. 11].

Для прикладу створення полігонального об'єкту наведено створення шару геологічної будови. Тут виділе-

но полігональні об'єкти певного літологічного типу та внесено інформацію до таблиці бази даних. На малюнках показано відскановане та прив'язане зображення карти, оцифроване зображення в програмному засобі MapInfo, а також частина таблиці створеної бази даних.



Рис. 1. Фрагмент відсканованого зображення геологічної карти південного берега Криму

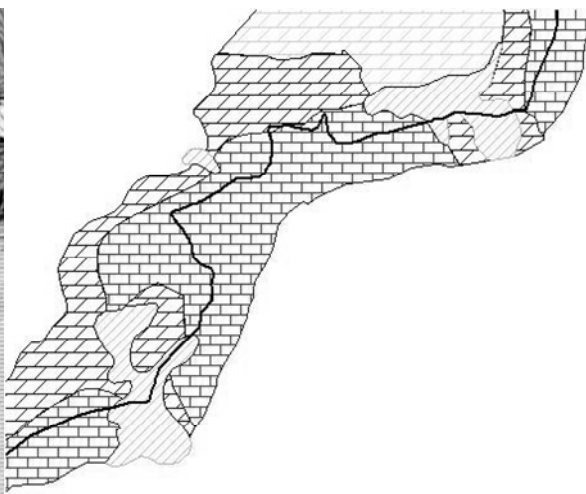


Рис. 2. Фрагмент оцифрованого зображення геологічної карти південного берега Криму

Для прикладу зображення точкового об'єкту наведена атрибутивна таблиця (рис. 3) зсувів вздовж автомобільної дороги Сімферополь-Ялта-Севастополь, що

містить інформацію про кадастровий номер зсуву, назву, рік утворення, прив'язку до дороги, ширину, довжину, глибину площі ковзання, ґрунти зсуву та їх вік [3].

	ID	Кадастр_№	Назва	Рік_утво	Прив_до_до	Ширина	Довжина	Гл_пл_ковза	Грунти_зсуву	Вік
☐		241	Таушан	1959	686+860	95	160	8-10	суглинок з щебенем глин	dp QIV
☐		1957			685+550	20	100	6-8	суглинок з щебенем глин	dp QIV
☐		1016	Таушанський	1970	686+450	60	150	8-10	суглинок з щебенем глин	dp QIV
☐		265	Таушанський	1960	687+400	150	73	3-5	суглинок з щебенем глин	dp QIV
☐		266	У Ангарського переві	1962	689+250	250	300	14-16	суглинок з щебенем глин	dp QIV
☐		247	12 км дороги А-С	1959	689+800	100	400	7-10	суглинок з щебенем глин	dp QIV
☐		398	Верхньо-Кутузовські	1966	694+000	60	35	6-8	суглинок з щебенем глин	dp QIV
☐		418	Верхньо-Кутузовські	1968	693+800	20	100	6-8	суглинок з щебенем глин	dp QIV
☐		357	Західно-Кастельські	1962	708+900	250	550	8-10	суглинок з щебенем глин	dp QIV
☐		251	ПК-32, Кастель	1962	708+480	80	250	7-8	суглинок з щебенем глин	dp QIV

Рис. 3. Атрибутивна таблиця зсувів

Після реєстрації та оцифровки, створені шари за допомогою програми універсальний транслятор інтегруються в середовище ESRI ArcGIS 9.2. За допомогою модулів 3D Analyst та Spatial Analyst в ArcGIS 9.2 з інтегрованих поверхонь створюються tin та grid моделі, що

надалі використовуються для моделювання. Для прикладу лінійного об'єкту показано створення моделі рельєфу, інтегрованої з MapInfo в ArcGIS карти ізоліній (рис. 4, 5, 6).

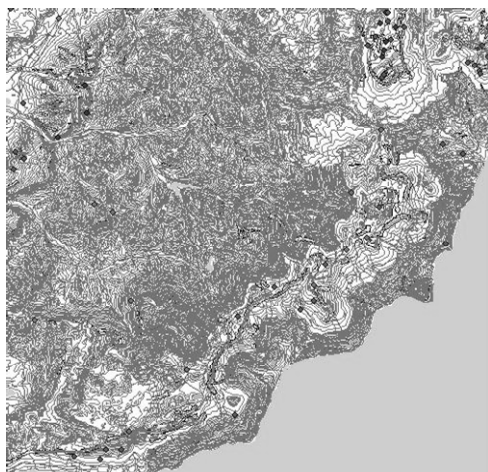


Рис. 4. Фрагмент оцифрованої карти ізоліній рельєфу південного берега Криму

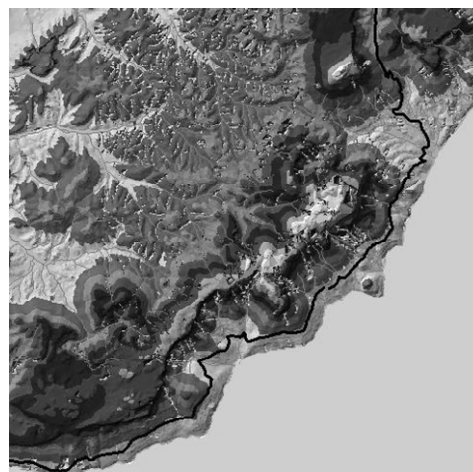


Рис. 5. Фрагмент Tin-моделі рельєфу південного берега Криму

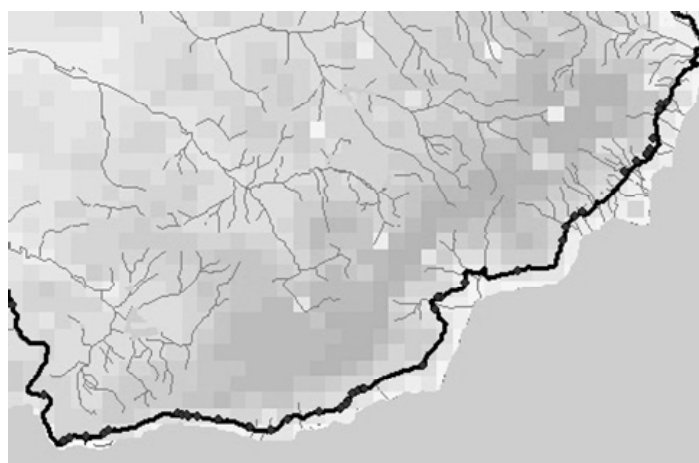


Рис. 6. Створена Grid-модель рельєфу південного берега Криму

Використовуючи запропонований підхід створено карту глибин залягання підземних вод для ділянки в межах одного з досліджуваних районів. Побудова виконувалася шляхом оцифровки даних, створенням ізоліній, TIN і GRID моделей абсолютних відміток поверхні землі та підземних вод. Використовуючи Raster

Calculator створено карту глибин залягання підземних вод (рис. 7).

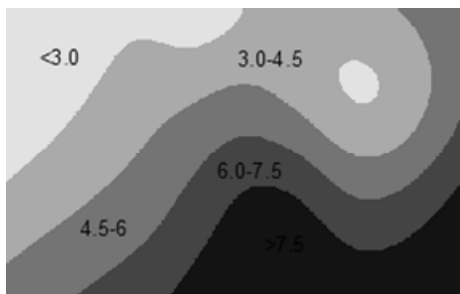


Рис. 7. Карта глибин залягання підземних вод

Таких підхід використовується для створення поверхонь просторових даних кожного фактору впливу на утворення зсувів. Наступним кроком для реалізації концептуальної моделі є:

- ранжування та класифікація поверхонь розподілу факторів впливу;
- використання "алгебри карт" та застосування картографічного накладання;
- створення карти зсувної небезпеки та районування території та ступенем зсувної небезпеки;

- районування території за інженерно-геологічними ознаками;

- здійснення моделювання для одного з визначених інженерно-геологічних районів.

Висновок. Для автомобільної дороги Сімферополь-Ялта-Севастополь вперше запропоновано методику використання ГІС для оцінки факторів впливу на утворення зсувів, побудовано цифрові поверхні природних та техногенних факторів впливу, створено атрибутивну базу даних зсувів. Створено карту глибин залягання підземних вод для ділянки в межах одного з досліджуваних районів. Картографічне накладання та використання модулю Raster Calculator дає можливість оцінити фактори впливу на зсувоутворення, виконати районування території та отримати результуючу карту за категоріями зсувонебезпечності.

1. Інформаційний щорічник щодо активізації небезпечних екзогенних геологічних процесів на території України за даними моніторингу ЕГП. Вип. IV. 2007. 2. Іщук О.О., Коржнев М.М., Кошляков О.Є. Просторовий аналіз і моделювання в ГІС. К. – 2003. 3. ДП "Укрдипродор" Технічний звіт про результати інженерно-геологічних вишукувань для складання ТЕО розвитку автомобільних доріг за напрямком Харків-Сімферополь-Алушта-Ялта на ділянках Сімферополь-Ялта (М-18), Ялта-Севастополь (Н-19) та Алушта-Судак-Феодосія (Р-29). 2008. 4. Костюченко М.М., Шабатин В.С. Гідрогеологія та інженерна геологія. К. – 2005.

Надійшла до редколегії 01.12.09

ЗАГАЛЬНА ТА ІСТОРИЧНА ГЕОЛОГІЯ

УДК (551.3:537.8):624,131,386 (477.4)

В. Бублясь, канд. геол.-мінералог. наук

ЗАКОНОМІРНОСТІ ЗМІНИ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМАЦІЙНОГО СТАНУ ПОРІД В МІКРОГЕОДИНАМІЧНИХ ЗОНАХ, РОЗВИНЕНИХ В ПОКРИВНИХ ВІДКЛАДАХ РІВНИННИХ ТЕРИТОРІЙ

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

В статті будуть розглянуті питання визначення величини напруження і розвитку напружено-деформаційного стану порід під впливом зовнішніх чинників: гравітаційні сили Землі, гравітаційні сили Місяця і Сонця, тектонічні рухи, температурні градієнти, геохімічні процеси, зміна вологості порід, ротаційні сили, що виникають в результаті зміни швидкості обертання Землі тощо.

The questions concerning to methods of stress determination and development of stress-deformation state of rocks under influence of external factors are considered: Earth's gravitation forces, gravitation forces of the Sun and Moon, tectonic movements, temperature gradients, geochemical processes, variation of rocks humidity, rotational forces arising from variation of Earth rotation have been defined.

Вступ. Відомо, що динамічна геологія вивчає всі сучасні геологічні процеси, які мають як наукове, так і практичне значення. Інформація про геологічні процеси необхідна для того, щоб заздалегідь передбачити їх появу, визначити їх характер і наслідки дії. Значна увага приділяється сьгодні геологічним процесам катастрофічного характеру, які виникають знезапця, швидко розвиваються і завдають великої шкоди навколишньому середовищу. Проте, буде великою помилкою вважати, що геологічні процеси, які розвиваються повільно, не мають суттєвого практичного значення. До найбільш поширених повільних геологічних процесів належать різного роду коливальні тектонічні рухи. В останні роки особливої уваги заслуговують мікрогеодинамічні процеси, що розвиваються у покривних відкладах ендегенно-екзогенного походження. Найбільш глибоко відпрацьованими сьогодні є методи визначення тектонічних мікроструктур, які базуються на уявленнях про успадкованість молодих і сучасних тектонічних рухів від попередніх етапів розвитку земної кори. При цьому широко використовуються ландшафтні індикатори [11]. Залучення матеріалів аерофотознімків і космічних знімків дозволяє встановити тектонічну і геодинамічну позицію на регіональному і локальному рівнях. Але рівень дослідження процесів в геодинамічних зонах залишається

ще на досить низькому рівні. Ця проблема чітко постає при вивченні особливостей перерозподілу радіонуклідів в геологічному середовищі в Зоні відчуження і прилеглих територіях [3].

В певних структурних елементах геологічного середовища на рівнинних територіях, обумовлених взаємодією ендегенних і екзогенних факторів, відмічено підвищений масообмін [4]. В рельєфі ці ділянки представлені депресивними морфоскульптурами. Для цих зон характерний і певний тип ландшафтів. Попередні наші дослідження показують, що основна маса обміну водних розчинів проходить через граничні зони структурних елементів – мікрогеодинамічні зони (зони тектонічних напружень або незначних зміщень), де рівень міграції радіоактивних елементів може перевищувати фонові значення у декілька разів. Крім того виявлено, що в цих зонах змінені не тільки матеріальний склад ґрунтів і їх властивості, але й проявляються відмінні величини електромагнітних і магнітних полів, компенсаційних електричних струмів, підвищені об'ємні активності радону і торону. У зв'язку з цим постає необхідність дослідження факторів і закономірностей розвитку цих специфічних природних утворень.

Матеріали, методи та об'єкт дослідження. Покривні відклади в умовах природного залягання постійно

зазнають різного типу механічних навантажень, що обумовлює напружено-деформаційний їх стан. На сьогоднішній день відомо велика кількість чинників, що впливають на механічний стан порід. Із найбільш впливових можна виділити: гравітаційні сили Землі, гравітаційні сили Місяця і Сонця, тектонічні рухи, температурні градієнти, геохімічні процеси, зміна вологості порід, ротаційні сили, що виникають в результаті зміни швидкості обертання Землі тощо. Сили, що впливають на напружений стан порід можна розділити на внутрішні і зовнішні. Внутрішнє напруження (його ще називають залишковим) виникає в процесі формування самих порід під впливом молекулярних, електростатичних, гравітаційних і тектонічних сил. Внутрішнє напруження зберігається протягом довгого часу і втрачає свій потенціал в результаті порушення геологічної цілості певних відкладів. Зовнішні сили (вище названі), що створюють напруження порід, як правило короткоплінні і мають різні за напрямком і величиною вектори впливу.

Попередні дослідження [7] проводились, в більшості випадків на великих глибинах (від 10 до кількох сот метрів), де значну роль відіграють тиски поверхневих відкладів. Цими дослідженнями було встановлено, що в різних точках на однакових глибинах величина тиску може бути різною. Крім того, інколи горизонтальні тиски можуть перевищувати вертикальні у 2-3 рази. В поверхневих відкладах існують зони ослаблення або розгрузки напружень де може відбуватись розуцільнення порід. Сьогодні є вже багато фактів, які нашоухують на думку про наявність певних горизонтальних рухів земної кори, які можуть відрізнятись за напрямком і силою дії, тобто мати певний режим в часі і просторі. І ці режими можуть відігравати відповідну роль у геодинамічних процесах. Даний напрямок дослідження представляє інтерес з точки зору розвитку мікрогеодинамічних зон, які знаходяться за межами тектонічних розломів. В першу чергу це стосується специфічних форм мікрорельєфу (западинних морфоскульптур) із підвищеними енергообмінними процесами. Матеріали про ділянки із підвищеними міграційними властивостями висвітлювались у багатьох наукових роботах [3, 4].

На сьогодні існує думка [10], що на напружений стан порід впливають: 1) добові рухи Землі (дія підсонячного меридіану); 2) зміна швидкості обертання Землі протягом року; 3) гравітаційні сили Місяця, і 4) різного роду багаторічні цикли космічних процесів.

Наші дослідження проводились на полігонах Зони відчуження і на методичному полігоні "Лютіж".

Із методичних прийомів дослідження використовувались: метод дешифрування і аналізу аерофотознімків і топографічних карт; метод еманайного зондування – вимірювання об'ємної активності радону в ґрунтах на фонових і ділянках з аномальними проявами; метод вимірювання величини стиснення-розтягнення порід при поверхневих шарів (на глибині 2 м).

При аналізі матеріалів аерофотозйомки використовувався принцип ведучих факторів, які підпорядковують основні риси природних особливостей земної поверхні (тип ґрунтів, їх вологість, характер рослинного покриву, рельєф). По фотонній структурі зображення дистанційних знімків було виділено планове розташування основних, у тому числі і похованих, геоструктурних елементів земної кори. Здатність природних утворень земної поверхні містити інформацію про геологічні об'єкти, що глибоко залягають, характеризує їх індикаційні властивості, а самі вони є індикаторами геологічних об'єктів [1, 2, 6, 8].

Для виявлення аномальних зон і встановлення рівнів величини їх проявлення використовувався метод еманайної зйомки. Даний метод відноситься до групи методів структурно-геодинамічного картування геодинамічних зон, які фіксуються безпосередньо в поверхневому шарі покривних відкладів [5]. Еманайне зондування використовувалось для виявлення аномальних зон і ступені інтенсивності аномальних проявів, і, в якійсь мірі, оцінки інтенсивності геодинамічних процесів на певних ділянках. Як показують матеріали дослідження, еманайні аномалії виділяються із розсіяних в осадових породах ізотопів радіо внаслідок зміни поля напруги в породах [12]. Для вимірювання концентрації (питомої активності) еманай в ґрунтового повітрі використовувались альфа-бета аналізатор, гама-радіометр ТС-4826.

Для вимірювання величини горизонтальних коливань рухів (стиснення – розтягнення) порід була зроблена спеціальна стаціонарна установка (рис. 1). Принцип роботи її полягає у фіксації величини зміщення бетонних плит, яке передається через керамічну трубу на штангу, що збільшує чутливість приладу, і на датчик вимірювання величини лінійних зміщень. Установка розміщена в спеціально обладнаному шурфі із розрахунком мінімальних зовнішніх впливів (температури, вологи, динамічних технічних коливань).

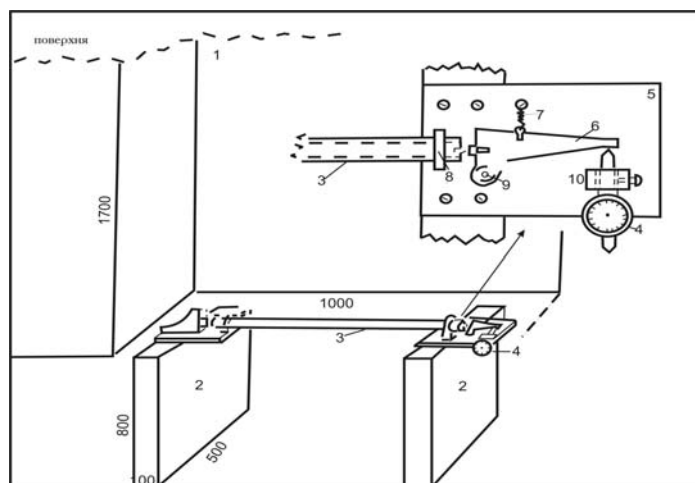


Рис. 1. Установка вимірювання величини стиснення-розтягнення порід, що відбуваються під впливом зміни швидкості обертання Землі і приливно-відливних гравітаційних сил Місяця і Сонця:

1 – шурф, 2 – бетонні плити, 3 – керамічна труба, 4 – вимірювальний пристрій з ціною поділки 1 мікрон, 5 – збірна панель, 6 – штанга, 7 – пружина, 8 – кронштейн для підтримки керамічної труби, 9 – шарнір, 10 – фіксатор корпусу датчика

Результати та обговорення. Вважають [2, 6], що сучасна поверхнева мережа напружено-деформаційних полів утворюється у процесі тектонічних рухів на новітньому і сучасному етапах розвитку земної кори, які ведуть до механічних зміщень певних ділянок. Особливості цієї мережі (характер розміщення лінеаментів), які фіксуються на матеріалах аерофотознімках (АФЗ), перш за все залежать від характеристик напруженого стану гірських порід.

Так щільність даних аномально зон зростає на більш напружених елементах структур. Тобто, спостерігається підвищена напруженість і розущільненість порід в покривних відкладах, яка відображає тріщинуватість кристалічного фундаменту [12]. В більшості випадків вони приурочені до зон максимальних градієнтів амплітуд неотектонічних і сучасних рухів і ділянок з найбільшими перегинами шарів покривних відкладів.

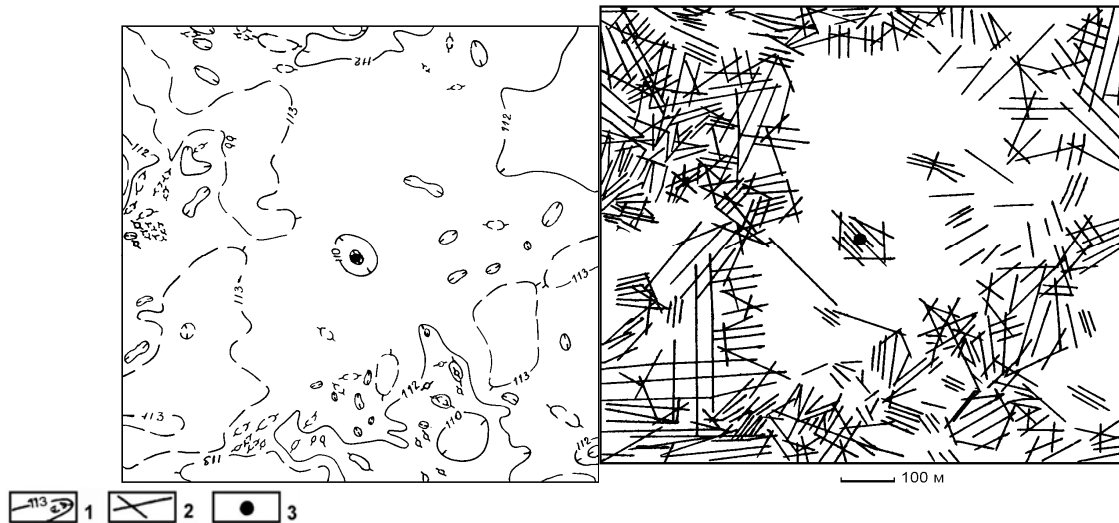


Рис. 2. Структурні особливості полігону "Бечівка" із вивчення зон із підвищеними мікрогеодинамічними процесами з відображенням гіпсометричної схеми рельєфу денної поверхні і схеми елементарних лінеаментів (складені за даними дешифрування матеріалів аерофотозйомки і топографічних карт).

1 – ізолінії рельєфу денної поверхні, 2 – елементарні лінеаменти, 3 – місцезоположення високо активної геодинамічної зони

Детальний аналіз виявлених за матеріалами аерофотознімків характерних геоіндикаційних ознак в межах полігону "Бенівка" дозволив на принципах системного аналізу виділити широко розповсюджені дискретні елементарні лінеаменти (рис. 2), які в сукупності являють собою відповідне поле. Безпосередньо, аналізуючи загальну структуру лінеаментного поля, на перший погляд різноорієнтовані, роз'єднані лінійні об'єкти вдалося згрупувати в лінеаменти та їх зони [1]. В останніх сконцентровані вказані елементарні лінеаменти, які відображають внутрішню їх будову. В межах ділянки, яка вивчається, лінійні структури об'єднані нами в закономірно розташовані системи певних напрямків, головними з яких є діагональні з переважанням азимутів простягання від 300° до 325° (північно-західні) і 35–60° (північно-східні) та ортогональні, спрямовані за азимутами 0°±5° і 270°±5° (субмеридіональні й субширотні). Дані системи контролюють одна одну простяганням і розмірами. При цьому (в більшості випадків) переважний розвиток має одна з них.

Еманаційне обстеження певних територій дало можливість виявити геодинамічні зони, в яких вільні гази шляхом дифузії і конвекції переміщуються в покривних відкладах в місцях тектонічних напружень і порушень. Такі зони досягають практично денної поверхні, оскільки період піврозпаду радону становить 3,8 доби, а торону – 54 с. А тому глибина формування еманцій, згідно розрахунку швидкості їх переміщення, не може бути глибше 10 м для радону і 0,5 м для торону, що свідчить про передачу геодинамічних рухів від кристалічного масиву покривним відкладам до їх поверхні. Як показують матеріали дослідження, еманції виділяються із розсіянних в осадових породах ізотопів радію внаслідок зміни поля напруги в породах [12].

Режимні спостереження за еманційними проявами на полігоні "Лютіж" (рис. 3) показують, що в геодинаміч-

ній зоні об'ємна активність Rn^{222} значно більша ніж на фоновій ділянці, вона у 3-6 разів перевищує фонову. Крім того, річні варіації цього показника також вищі в геодинамічній зоні. За період вимірювань Rn^{222} – 2007-2009 рр. було встановлено, що в літній період еманції вищі, але в основному, у геодинамічній зоні. По роках також є відмінності. Найбільш активним виділяється 2008 р. Наші дослідження прямої і розсіяної сонячної радіації і напруженості електромагнітного поля в приповерхневих шарах атмосфери в цей рік показують найбільше їх значення за період спостережень. Можливо, ці показники мають генетичний зв'язок з мікрогеодинамічними процесами, але ця гіпотеза потребує ще ретельного дослідження.

В 2008 р. було розпочато дослідження прямих показників напружено-деформаційного стану порід в мікрогеодинамічній зоні. Проведено спостереження за величиною стиснення – розтягнення порід. Задачею представлених досліджень було з'ясування наявності зміни напруженого стану порід під впливом вище названих факторів. На полігоні "Лютіж" більше року проводяться спеціальні дослідження з визначення характеру зміни напруженого стану порід. Для фіксації напружень порід було розроблено спеціальну установку із датчиком, що реагує на зміщення порід біля 1 мікрона. Вимірювання проводилось в спеціально обладнаному шурфі у мікрогеодинамічній формі між, бетонними плитами, вмонтованими в породи з мінімальним їх порушенням на глибину 1,7–2,5 м. За період вимірювань було встановлено зміщення порід біля 5 мк в масиві порід шириною 1 м (між плитами) під впливом гравітаційних сил Місяця. Максимальне зміщення було зафіксовано в період повного місяця з максимальною його висотою над горизонтом (9.10.08). В річному ході зміни напруженості порід (рис. 4) чітко відображаються періоди зміни швидкості обертання Землі [10], два прискорення і два уповіль-

нення. Найбільш високі значення стиснення порід відмічено у весняний період, досягаючи 28 мк за 2008-2009 рр. (з урахуванням коефіцієнтів температурного розширення). Добових варіацій зафіксувати не вдалося.

На сьогодні проводяться роботи з удосконалення датчика вимірювання і встановлення нової установки на фоновій ділянці.

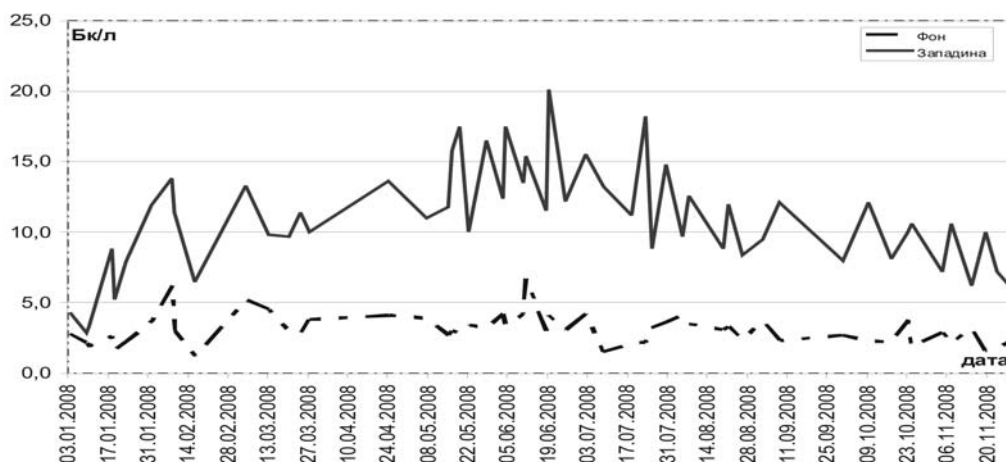


Рис. 3. Зміна питомої активності Rn^{222} в повітрі ґрунтового покриву западинної морфоскульптури в межах мікрогеодинамічної зони і фоновій ділянці протягом 2008 р. (полігон "Лютіж")

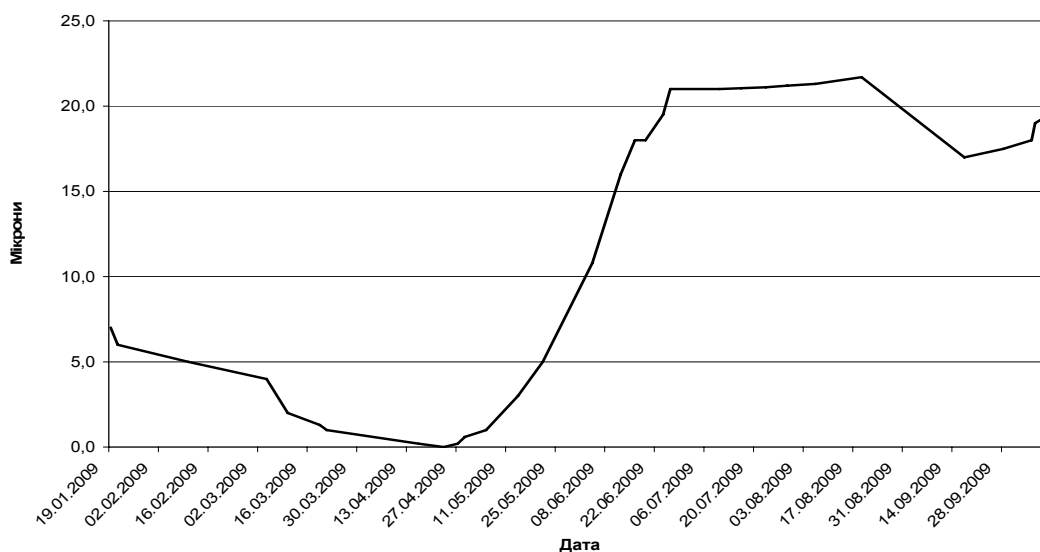


Рис. 4. Графік зміни величини стиснення-розтягнення порід під впливом ротаційних сил Землі протягом січня-жовтня 2009 р. (в мікронах)

Висновки. Уява про те, що сучасний мікрорельєф утворюється у процесі тектонічних коливальних рухів на новітньому і сучасному етапах розвитку земної кори підтверджується даними трансформації ландшафтних компонентів – рослинного і ґрунтового покриву, рельєфу. Вони і є основними індикаторами виділення лінеamentів, що відображають мікрогеодинамічні процеси. Особливості їх розміщення (густота, розкритість, протяжність, особливість розміщення), які фіксуються на АФЗ, перш за все залежать від характеристик напруженого стану гірських порід. Так, щільність лінеamentів зростає на більш напружених елементах структур. Тобто, підвищена тріщинуватість приурочена до зон максимальних градієнтів амплітуд неотектонічних і сучасних рухів.

За існуючими сьогодні поглядами [1], ділянки з підвищеними проявами еманцій у відносно однорідному геологічному середовищі можна віднести до мікрогео-

динамічних, а підвищені варіації Rn^{222} відображають певний напружено-деформаційний стан порід.

Попередні і представлені дані дешифрування ландшафтних індикаторів, еманційного зондування і величин напружено-деформаційного стану порід дають підставу вважати, що покривні відклади навіть платформних (тектонічно стабільних) областей постійно зазнають механічних напружень і порушень під впливом ротаційних сил Землі, гравітаційних сил Місяця і Сонця, електромагнітних сил, генерованих атмосферою. Ці сили, поряд з іншими, ймовірно, є причиною утворення мікрогеодинамічних зон в осадовій товщі і специфічних ландшафтів з підвищеним енергомасообміном.

1. Азімов О.Т., Бублясь В.М. Деякі методичні підходи і результати застосування комплексу аерокосмічних і геолого-геофізичних методів дослідження геодинамічних процесів у зонах аномального вертикального масо переносу / Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища. Мат. V Міжн. наук. конф. К. – 2004.

2. Башенина Н.В. Геоморфологическое картирование. М., 1977. 3. Бублясь В.М., Шестопалов В.М. Аномальные зоны и их роль в перераспределении радионуклидов из поверхности почв в подземные воды. / Монография. Водообмен в гидрогеологических структурах и Чернобыльская катастрофа. Ч. 1, Распространение чернобыльских радионуклидов в гидрогеологических структурах. – Киев, 2001. 4. Бублясь В.М., Шестопалов В.М., Бублясь М.В. Электрогеодинамические явления в атмосфере и литосфере и их влиянии на массообмен. Вісн. Київ. ун-ту. Сер. Геологія. № 44. К. – 2008. С. 67-72. 5. Горбушина Л.В., Рябоштан Ю.С. Эманионный метод индикации геодинамических процессов при инженерно-геологических изысканиях // Сов. геология, – 1975. №4. С.106-112. 6. Ласточкин А.Н., Розанов Л.Н. Использование геолого-геоморфологических методов при поисках нефти и газа // Обзор ВИ-ЭМС. – М., 1979. 7. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Инженерная

петрология. – Л., 1970. 8. Полканова Л.П. Основы методики структурно-геоморфологических исследований при нефтегазопроисловых работах. М., 1978. 9. Розанов Л.Н. Динамика формирования тектонических структур платформенных областей. – Л., 1981. 10. Слензак О.И. Происхождение и поведение природных и техногенных возбужденных электронных состояний (ВЕЗ) атомов // Междунар. конф. "Глубинное состояние литосферы и нетрадиционное использование недр Земли". – К., 1996. 11. Философов В.П. Краткое руководство по морфометрическому методу поисков тектонических структур. – Саратов. 1960. 12. Яковлев В.С., Каратаев В.Д. Плотность потока радона с поверхности земли как возможный индикатор изменений напряженно-деформационного состояния геологической среды // Вулканология и сейсмология, №1, 2007, С. 74-77.

Надійшла до редколегії 07.12.09

УДК 551 (092)

С. Половка, канд. геол. наук

ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ МОРСЬКОЇ ГЕОЛОГІЇ В НОВОРОСІЙСЬКОМУ УНІВЕРСИТЕТІ (1865 – 1920 РР.)

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

Стаття висвітлює історію становлення та розвитку морських геологічних досліджень у Новоросійському (нині Одеський національний університет імені І.І. Мечникова) університеті (1865 – 1920 рр.). Акцентовано увагу на теоретичних і прикладних результатах проведеної роботи в узбережній зоні та акваторії Чорного моря в галузі геології океанів і морів.

Article is devoted to formation and development of marine geological research in Novorossiysk (today ONU Mechnikov) University (1865 – 1920). Highlight the main results of the healthy lifestyle in the area and the Black Sea, focusing on theoretical and applied scientific achievements of the University in the field of geology of the oceans and seas.

Вступ. Процес наукової творчості, осяяний свідомістю окремих визначних людських особистостей, є разом з тим повільним віковим процесом загальнолюдського розвитку. Історик науки за В.І. Вернадським відкриває завжди непомітну сучасникам, тривалу і важку підготовчу роботу. "Коріння будь-якого відкриття лежить далеко в глибині й, ніби хвилі, що б'ються, розбігаючись, об берег, багато разів плещеться людська думка біля відкриття, яке готується, доки не прийде дев'ятий вал" [2].

Постановка проблеми. З часу зародження і до нині на морські геологічні дослідження покладалася різні задачі. На час існування Новоросійського університету (1865 – 1920 рр.) домінувала контракційна гіпотеза землеустрою. Нами зроблено спробу висвітлити, що було напрацьовано дослідниками цього вузу для підтвердження або спростування контракційних поглядів на розвиток літосфери.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Історії розвитку геології в Новоросійському (Одеському) університеті присвячено низку публікацій [6 та ін.]. В них розглянуто наукові напрацювання у суцільному контексті розвитку геологічної науки. Ми сконцентруємо увагу читача на становленні та розвитку виключно морських геологічних досліджень у цьому вузі.

Постановка завдання. Початок ХХІ століття в Україні є складним та неоднозначним. У непрості часи існування морських геологічних досліджень на терені України, як морської держави, конче потрібний аналіз її здобутків та помилок. На значення історії дослідження природничих наук вказував ще академік В.І. Вернадський, який започаткував історію науки і техніки, як окремий науковий напрям. Перед тим, як зробити наступний крок у науці, на його думку необхідно засвоїти та осмислити все зроблене твоїми попередниками.

Історичний зріз розвитку морської геології в Новоросійському, нині Одеському національному університеті імені І.І. Мечникова, дозволяє показати теоретичні та прикладні напрацювання вчених цього вузу. На наш погляд доцільно висвітлити в яких умовах народжувалась морська наука в Україні та прослідкувати значимість наукових напрацювань, які були здійснені дослідниками дна акваторії Чорного моря.

Викладення основного матеріалу. Перед тим, як приступити до викладення теоретико-прикладних розробок викладачів Новоросійського університету в розвиток морської геології, доцільно коротко охарактеризувати той фундамент на якому базувалися їх подальші дослідження в цій галузі.

Азово-Чорноморський регіон вивчали в античні часи (VIII-IV ст. до н. е.) фінікійці і греки, у середньовіччі (IX – XVII ст.) – росіяни, генуезці та венеціанці. З XV ст. Османська імперія перешкоджає вивченню регіону майже на триста років.

Задовго до офіційного визнання існування морської геології в Україні, узбережжя і дно Чорного та Азовського морів вивчалися багатьма дослідниками, які робили перші кроки в даній галузі науки. Перші офіційно визнані дослідження глибин акваторії Азово-Чорноморського регіону здійснили капітан П. Памбург і штурман Х. Отто, які проводили проміри глибин Чорного моря на шляху до Стамбулу та замальовували його береги, під час доставки російського посла Є. Українцева та членів посольства в Стамбул на кораблі "Крепость" (1699 р.).

Новий виток вивчення Азово-Чорноморського регіону відбувся в Петровський період, після приєднання Північного Причорномор'я (1774) та Кримського півострову (1783) до Росії. Але бойові сутички російського та турецького військових флотів не припиняються і продовжуються до 1809 року включно. Очаківська морська битва (1788) і битва поблизу острова Федонісі (Зміїного) (1788), Керченська (1790) та морські битви біля Тендри (1790) і мису Каліакра (1791) та інші утвердили присутність Російської Імперії в регіоні і показали, що потрібні різноманітні відомості про акваторію Чорного моря (глибина моря, напрям течій, рельєф дна, тощо).

У кінці XVIII на початку XIX-го століття розпочинає розвиватися економічна інфраструктура регіону, яка потребує гідрографічних відомостей. В зв'язку з цим у 1820 році відбулася франко-російська експедиція та гідрографічна експедиція на чолі з Є.П. Манганарі на яхті "Голубка". За результатами цих експедицій були побудовані Атлас (1841) та Люція Чорного моря (1851). В Атласі містилися відомості про морські ґрунти, течії і глибини до 300 сажень (180 м) і т.п. В подальшому ці картографічні твори Єгора та Михайла Манганарі слу-

гували флоту понад 100 років і використовувалися при складанні радянських морських карт і карти закордонних берегів Чорного моря [6, 10].

До середини XIX століття основним завданням дослідників було визначення глибини акваторії для потреб навігації та накопичення різномірної інформації про дно морів і океанів. В той час у теоретичній геології домінувала гіпотеза "кратерів підняття" (автори Л. фон Бух і А. Гумбольдт 20-ті роки XVIII ст.) та в подальшому вона вичерпала своє існування і була відкинута на підставі опрацювання багаточисельного фактичного матеріалу, що свідчив на користь контракції.

З середини XIX до початку XX століття в класичній геології домінує гіпотеза контракції (автор французький геолог Елі де Бомон, 1852), яка базується на космогенічних побудовах Канта-Лапласа. Цю гіпотезу підтримували відомі геологи Е. Ог, Г. Штілле, О.П. Карпінський, І.М. Мушкетов та інші. На основі цих поглядів була створена фундаментальна праця австрійського вченого Е. Зюсса "Лице Землі" (том 1 -3, 1883 – 1909). Він та інші європейські вчені відкидали поняття "підняття" земної кори. Всі підняття називалися ті, що здаються і пояснювалися з позиції контракції або евстатичними рухами. Е. Зюсс писав: "Ми знаємо евстатичні рухи двох родів: одні викликані опусканням земної кори, епізодичні та від'ємні; другі, викликані приростом морських осадків, постійні і додатні". Поки ці погляди домінували в теоретичній геології, ідея про геосинкліналі не могла бути висунута в ранг вчення, хоча російські вчені П.П. Дорошин (1871) і С.М. Нікітін (1895) розглядали зміни положення континентів і морів з позиції трансгресії та впливу коливань самої суші.

На кінець XIX століття велике значення для ствердження ідеї про геосинкліналі мав розгром ортодоксальної позиції Е. Зюсса. Визнання існування підняття земної кори (хоча евстатичні коливання відкидалися) дало імпульс подальшому розвитку не тільки новому вченню, а й для всієї теоретичної геології.

Становлення морської геології в Новоросійському університеті відбулося в той час коли в геологічній науці зароджувалося та розвивалося вчення про геосинкліналі (Д. Холл, 1857; Д. Дена, 1873). Європейські вчені перетворили його в чітку наукову концепцію, яку підтримували та розвивали Е. Ог, Г. Штілле, Л. Кобер, Ч. Шухерт, А.А. Борисяк, С.М. Бубнов, А.Д. Архангельський, М.С. Шатський, В.В. Білоусов, А.В. Пейве, В.Ю. Хаїн та ін. Перший у статті "Геосинклинали и континентальные площади" (1900) сформулював основні положення вчення про геосинкліналі [10]. У цій науковій праці Е. Ог геосинкліналям протиставляє платформи і цим ставить під сумнів дієвість контракційної гіпотези.

До офіційного визнання морської геології в Україні, узбережжя і дно Чорного та Азовського морів досліджувалося багатьма вченими, які робили перші кроки в даній галузі науки. Формування напрямів морської геології проходило за безпосередньою участю вчених єдиного приморського вузу на теренах України в складі Російської Імперії – Новоросійського (Одеського) університету: М.О. Головінського, І.Ф. Леваковського [7], М.Є. Крендовського, Р.А. Пренделя, М.П. Рудського, Н.А. Соколова, Є.М. Брусиловського, Н.А. Скальського, М.Д. Сидоренко, М.І. Андрусова та інших видатних вчених XIX ст. [6, 8, 10]. Перші дослідження були здійснені в узбережній зоні Азово-Чорноморського регіону.

Аналізуючи становлення морської геології в Новоросійському університеті, слід згадати наукові напрацювання професора М.О. Головінського, який встановив загальні закономірності змін характеру осадконакопичення в басейні, що піддається вертикальним коли-

ванням (принцип Головінського) та ввів в ужиток у російській геологічній науці термін фація (запропонував Греслі, 1838) і горизонт, сформулював закон утворення річкових терас). М.О. Головінський сприймає нову наукову ідею геосинкліналей та прищеплює її Р.О. Пренделю та М.І. Андрусову.

Його науковий авторитет та географічний аспект – близькість моря – ось ті фактори, що виступили рушійною силою, що спонукала до становлення та розвитку напряму геологічної думки в Новоросійському університеті – вивчення стику суша – море та дна акваторії Чорного моря.

Перевірка дієвості гіпотези контракції відбувалася через співставлення континентальних та морських відкладів, при цьому основним завданням було встановити: 1) зв'язок коливань геосинкліналі з коливаннями всього континенту; 2) літологічний склад донних відкладів.

Тепер розглянемо, що було зроблено для підтвердження або спростування контракційних поглядів, які на цей час претендували на створення узагальнених і цілісних уявлень про все різноманіття геологічних процесів.

І.Ф. Леваковський (1881) [7] вивчав рух гальки та валунів в узбережній зоні, Р.О. Прендель (1891) [11] дослідив раніше за європейських вчених морські тераси на прикладі кавказьких берегів Чорного моря; М.П. Рудський (1894, 1895) – морські береги на ділянці м. Айя – Судак. Р.О. Прендель пояснює причини зміни рівня моря (опускання – підймання суші) та утворення лиманів (вторгнення моря в річкові долини) [12 -13].

Важливий напрямок досліджень відображено в наукових працях М.Є. Крендовського (1881, 1884) [4 -5], М.А. Соколова (1895 – 1896) [15 – 17] та Є.М. Брусиловського (1897) [1]. Перший займався дослідженням дельти р. Дніпро, Бугського, Дністровського та інших лиманів. Він встановив швидкість зростання дельти, описав будову цих лиманів та їх відклади. Другий – наводить відомості про будову дна лиманів Північного Причорномор'я. Наступний дослідник – детально проаналізував походження одеських лиманів та палеогеографічну обстановку в четвертинний період геологічної історії Чорного моря.

Продовжує та поглиблює дослідження в цьому напрямі проф. Новоросійського університету М.Д. Сидоренко (1897, 1898, 1901) [14]. Він вперше в Російській Імперії застосував поляризаційний мікроскоп для петрографічного опису мулів і наносів з Куяльницького та Хаджибейського лиманів. Його наукові роботи показали, що мул вміщує велику кількість продуктів життєдіяльності організмів, а також мінерали: кварц, польовий шпат, гіпс, апатит, рутил, альбіт, лепідомелан, мусковіт, гетит, арагоніт, гідротроїліт [2].

Важливу роль у вивченні Чорноморського басейну відіграв М.І. Андрусов, який запропонував у 1889 р. проект комплексних глибоководних досліджень у Чорному морі. Його стаття ("О необходимости глубоководных исследований в Черном море", 1890) спонукала до організації першої океанологічної експедиції (1890 – 1891) на чолі з І.Б. Шпіндлером на канонерських човнах "Черноморець", "Донец" і "Запорожець". В роботі цієї експедиції взяли участь М.І. Андрусов, М.Д. Зелінський та ін. [6; 10].

Під час експедиції було здійснено батиметричні виміри (117 точок – глибини більше 100 м) Чорного моря та опубліковано в 1899 р. карту в масштабі 1:4 000 000, де показано ізобати 100, 500, 1000 і 1200 морських сажень. Не дивлячись на спрощені контури карти, основні особливості рельєфу дна моря відображались вірно. В результаті цього було встановлено, що центральна частина Чорного моря є западиною, глибина якої сягає 2244 м.

Дослідження речовинного (літологічного, мінерального, геохімічного) складу осадків Чорного моря заклали в своїх наукових працях М.І. Андрусов (1890, 1892, 1894) саме під час першої глибоководної експедиції (1892), яка завершилася двома великими відкриттями:

- виявлення на дні моря решток післятретинної фауни каспійського типу;
- відкриття зараження глибин Чорного моря сірководнем.

Микола Іванович Андрусов першим описав глибоководні осадки і виявив в них стягнення кальциту -др'юїту, йому та М.Д. Зелінському належить гіпотеза походження сірководневого зараження глибинних вод за рахунок біогенного сірководню. М.Д. Зелінський експериментально довів (1891), що сірководень -продукт біогенного походження.

Перевірка місця закладення геосинклінали за Деном (на краях материка) і Огом (між континентами) спонукає М.І. Андрусова до буріння в акваторії. Вперше морське буріння в сучасних територіальних водах України здійснив Микола Іванович у 1918 р. в акваторії Керченської протоки. Він побудував геологічні розрізи дна, дослідив літологічні особливості четвертинних утворень і висловив думку про ерозійне походження Керченської протоки [10].

На основі проведених робіт по складанню геологічної карти і багаторічних попередніх досліджень, на початок ХХ ст. основні підрозділи стратиграфії мезозою і нижньотретинних відкладів Криму були визначені. Одночасно на прикладі геологічної будови Керченського півострову було з'ясовано основні риси стратиграфії і палеогеографії неогену для всієї Чорноморської області. Особлива заслуга в цьому М.І. Андрусова, який у наукових працях надав вичерпну характеристику окремим стратиграфічним горизонтам міоцену й пліоцену півдня України. Він всебічно опрацював низку груп викопних молюсків, як-от дрейсен, кардид та ін., що мало винятково важливе значення для висвітлення палеогеографічних умов Чорноморської і Каспійської областей.

Спираючись на дослідження М.І. Андрусова, перший Президент Академії наук України академік В.І. Вернадський особливо наголошує на необхідності проведення геохімічних досліджень в Азовському морі та вивченні природної радіоактивності Південного берегу Криму.

Події 1905 р. в Росії, перша імперіалістична війна 1914 р. та події 1917 – 1922 рр., призупинили наукові дослідження Азово-Чорноморського регіону в Новоросійському університеті.

З'ясування складності геологічної історії Чорноморського басейну в четвертинний час вимагало поєднання зусиль по вивченню будови цього басейну з розглядом процесів розвитку рельєфу Російської рівнини, Криму та Кавказу. В зв'язку з цим, треба згадати дослідження геологічної будови лиманів Північного Причорномор'я і гирлових частин рік, що впадають у море, які опубліковані Р.Р. Виржівським (1925, 1926), В.В. Степановим (1957), Д.І. Складуком (1957), колективом авторів (Є.А. Гапоновим, Л.І. Пазюком, В.В. Степановим, А.Ф. Герун, 1954), М.Г. Барковською (1954, 1961, 1963 і 1966). За допомогою цих робіт був зіставлений стратиграфічний розріз чорноморських відкладів з континентальними утвореннями прилеглих районів суші. Стратиграфічний напрям досліджень також був започаткований М.І. Андрусовим. Він досить широко представлений у наукових працях його послідовників Р.Р. Виржівським (1928), Г.І. Молявко (1960) та інших.

Саме в Новоросійському університеті було закладено фундамент таким науковим напрямом досліджень в області морської геології, як палеонтологія і стратигра-

фія донних осадків, літологічний склад та умови їх накопичення і співставлення з континентальними відкладами; вивчення корисних копалин на дні моря та палеогеографія утворення лиманів, їх еволюція, можливе використання. Методи аналізу перерв і незгідностей стають провідними для розшифрування геологічної історії окремих районів акваторії, служать фактологічною основою для доказу існуючих та створення узагальнюючих гіпотез, в яких робилися спроби пояснити виявлені особливості в будові земної поверхні однією загальною для всієї земної кулі причиною.

Накопичений вченими Новоросійського університету фактичний матеріал дає підставу по-новому поглянути на місце і сутність та направленість геологічних процесів у розвитку Землі.

Розвиток теоретичної геології в кінці ХІХ століття (не є виключенням і морська геологія в Новоросійському університеті) завершився зміною космогонічних уявлень про Землю. Її почали розглядати як первісно холодне тіло, розігрите з середини. Пояснення еволюції земної кори та літосфери одні вчені починають трактувати з позиції мобілізму (Ф. Тейлор, 1910; А. Вегенер 1912 та ін.), інші – фіксизму (Р. Ван Беммелен, В.В. Білоусов та ін.). Мобілістська гіпотеза А. Вегенера не знаходить підтримки серед вчених. Але згодом до неї повертаються та це тематика наших подальших досліджень.

У кінці нашого історичного екскурсу про становлення та розвиток морських геологічних досліджень у одному з перших на теренах сучасної України приморському вузі, хотілося наголосити, що біогенна гіпотеза походження сірководню, яка обґрунтована саме вченими Новоросійського університету (М.І. Андрусов, М.Д. Зелінський), спонукає довгий час геологів-виробничників під "біогенним" кутом зору поглянути на виділення перспективних площ у нафтогазоносному відношенні і надихає Володимира Івановича Вернадського розглянути питання походження життя на Землі та розвивати, а згодом створити всесвітньо відоме вчення про біосферу.

Висновки. На підставі викладеного зробимо наступні висновки:

1. Вчені Новоросійського університету вперше окреслили найбільш важливі проблеми морської геології, вирішення яких сприяло розшифровці геологічної історії розвитку суші та акваторії Чорного моря і порівняння їх створило підставу для постановки питання про дієвість контракційних поглядів на землеустрій.

2. Дослідники Новоросійського університету розробили наукове обґрунтування теорії про додатний напрям руху суші. Цей результат випередив світову науку і дав статус вузу по праву вважатися "колискою" морських геологічних досліджень в світі та Україні.

3. Наукові результати вчених із Новоросійського університету сприяли зміні космогонічних поглядів на походження і розвиток Землі. В подальшому це стало поштовхом до нових наукових ідей у теоретичній та практичній геології, які і нині впливають на хід розвитку геології та інших природничих наук, як в Україні так і за її межами.

1. Брусиловский Е.М. Одесские лиманы и их лечебные свойства. – Одесса, 1897. 2. Вернадский В.И. Тр. по истории науки в России / Владимир Иванович Вернадский. – М., 1988. 3. Геолог від Бога: наук. навч. посіб. / [М.О. Огняник, Н.Б. Вяткіна, О.М. Іванік – К., 2000. (Геологические исследования в Новороссийском университете в XIX – начале XX в.). 4. Крендовский М. Е. Исследование Бугского, Днестровского и других лиманов // Тр. об-ва испытателей природы при Харьков, ун-те. – 1884. – Вып. 18. 5. Крендовский М.Е. Исследования днепровской дельты // Тр. об-ва испытателей природы при Харьков, ун-те. – 1881. – Вып. 14. 6. Ларченков Е.П. Геология в Одесском университете (Очерки истории кафедры общей и морской геологии) / Ларченков Е.П., Кравчук О.П., Кравчук А.О. – Одесса, 2009. 7. Леваковский И. Ф. Исследования над образованием Таврических гор // Тр. о-ва естествоиспытателей при

Харьков, ун-те. – 1881. – Т. 14. 8. Митропольский О.Ю. Перспективы розвитку морської геології в контексті загального реформування народного господарства України // 36. наук. пр. – К., 2001. 202 – 207. 9. Пазюк Л. И. Итоги исследования побережья и морского дна Черного и Азовского морей в пределах УССР за годы Советской власти / Л.И. Пазюк, Л.Б. Розовский, И.Я. Яцко // Геология побережья и дна Черного и Азовского морей в пределах УССР: Межведомственный Респ. науч. сб. – 1968. – Вып. 2. – С. 3 – 9. 10. Половка С.Г. Сто морских геологов Украины. – Київ – Умань, 2007. 11. Прендель Р.А. Очерк геологического строения Крымских гор / Р.А. Прендель // Зап. Импер. о-ва сел. хоз-ва Юж. России. – 1891. – №4. – С. 3 – 8. 12. Рудский М. П. О лиманах / М. П. Рудский // Дневник X съезда русских естествоиспытателей и врачей. – 1894. – № 4. – С. 6. 13. Рудский М. П. Предварительный отчет о поездке в Крым летом 1894 г. / М. П. Рудский // Зап. Новорос. о-ва

естествоиспытателей. – 1895. – Вып. 20, № 1. – С. 24 – 48. 14. Сидоренко М. Д. Петрографические данные по современным отложениям в Хаджибеевском лимане и о литологическом составе поверхностных осадков Куяльницко – Хаджибейской пересыпи // Зап. Новорос. о-ва естествоиспытателей. – 1901. – Вып. 24, № 1. – С. 97 – 119. 15. Соколов Н. А. Заметка об о-ве Березани и дислокации понтических отложений в области Сиваша и Перекопского лимана // Изв. Геол. ком-та. – 1895а. – Вып. 14, № 6-7. – С. 241 – 258. 16. Соколов Н.А. Миусский лиман и время образования лиманов Южной России // Зап. спб. минерал. о-ва. Сер. 2. – 1902. – Вып. 1, ч. 40. – С. 24 – 35. 17. Соколов Н. А. О происхождении лиманов Южной России // Тр. Геол. ком. – 1895. – Вып. 10, № 4.

Надійшла до редколегії 30.01.10

ЕКОНОМІЧНА ГЕОЛОГІЯ

УДК 553.061

А. Бодюк, канд. економ. наук

ГЛОБАЛЬНІ ПОТРЕБИ ЕКОНОМІК КРАЇН У РОЗВІДЦІ НАДРОВИХ РЕСУРСІВ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. В.А. Михайловим)

Проведено аналіз публікацій з проблем використання надр. Дано визначення понятійного апарату глобальних потреб економік країн у корисних копалинах. Обґрунтовано поняття глобалізації потреб у геологорозвідці в широкому і вузькому значеннях. Визначено дослідження які актуальні для економічної геології у світовому масштабі динаміки і структури потреб економік країн.

Analysis of publications is conducted from the problems of the use of bowels of the earth. Determination of concept vehicle of global necessities of economies of countries is given. The concepts of globalization of geological survey requirements are grounded. Researches of dynamics and pattern of requirements of economies of countries are actual for economic geology.

Постановка проблеми. Потреби у надрових ресурсах, відповідно здійснення пошуку і розвідки корисних копалин для їх задоволення, мають світові масштаби, тому їх безперечно необхідно відносити до глобальних.

До того ж, наприклад, незадоволення потреб споживачів лише у паливних ресурсах призводить до економічної та політичної кризи у регіональних масштабах для низки країн.

За різнобічністю і динамічністю економічних потреб в усьому світі велася, ведеться і буде вестися різними методами боротьба за володіння надровими ресурсами і забезпечення ними виробництва. Тому в другій половині ХХ ст. обсяги геологорозвідувальних робіт й видобутку корисних копалин зростали.

Господарська діяльність геологічних служб у всьому світі досягла піку в 70-х роках минулого століття, що обумовило інтенсифікацію програм геологічної зйомки, проведення геохімічних і геофізичних досліджень. Однак, наприкінці ХХ ст. – на початку ХХІ ст. визначилася тенденція до скорочення потреб у мінеральній сировині та енергії. Країни світу стали господарювати за парадигмою

стабільного розвитку. Тому за названих та інших причин відносно скорочувалися діяльність геологорозвідувальних служб, їх штати, бюджетне фінансування [6].

Як відзначають дослідники (І.Д. Андрієвський, Д.С. Гурський, В.С. Міщенко, Г.І. Рудько та ін.), мінерально-сировинний комплекс України продовжує займати провідне місце в економіці країни, оскільки майже дві третини потреб народного господарства в мінеральній сировині та продуктах її переробки забезпечується за рахунок продукції власного виробництва, причому частка власної продукції з року в рік зростає.

Тому тільки третина потреб економіки України в продукції мінерально-сировинного комплексу, за даними І.Д. Андрієвського, задовольняється за рахунок імпорту (табл. 1).

З наведених у табл. 1 даних видно, що показники виробництва у 2000-х роках щорічно зростали. Але показники імпорту в Україну зростали більшими темпами, ніж експорту. Змінити їх співвідношення є важливим завданням для країни, оскільки Україна інтегрована у Європейську і світову економіку.

Таблиця 1. Динаміка потреб народного господарства України в продукції мінерально-сировинного комплексу

Роки	Виробництво в Україні, млн грн	Експорт з України, млн грн	Імпорт в Україну, млн грн	Потреба, млн грн	Імпорт до потреби, %	Використання власної продукції, %
2000	110727,1	48849,3	40162,0	102039,8	39,4	60,6
2001	122288,9	49025,0	41632,8	114896,7	36,2	63,8
2002	134106,3	51883,1	43078,0	125301,2	34,4	65,6
2003	167109,6	71212,2	53129,7	149027,1	35,7	64,3
2004	249270,9	100631,5	69184,4	217823,8	31,8	68,2
2005	290977,6	106735,6	76014,5	260256,5	29,2	70,8
2006	339313,3	117763,6	91623,4	313173,1	29,3	70,7
2007	450324,4	140334,3	118129,5	428119,6	27,6	72,4
2007 у % до 2000	406,7	287,3	294,1	419,6	70,0	119,5

Слід також відзначити, що в економіці "...мінеральні ресурси займають важливе місце серед інших природних ресурсів Землі. При цьому їх частка в загальному балансі природної сировини, що використовується, постійно

збільшується. Якщо на початку минулого століття вона становила 40 %, то нині перевищує 70 %. У перспективі роль гірничодобувних галузей промисловості ще більше зросте". Причому "Зростання світового споживання бі-

льшості видів сировини загалом помітно випереджає зростання кількості населення на земній кулі" [9].

Таким чином, потреби у пошуково-розвідувальних дослідженнях і роботах у всьому світі зростають і зростатимуть разом з потребами у мінеральній сировині, обсягами її видобування.

Необхідно зазначити, що починаючи з середини семидесятих років минулого століття в Україні за різних причин (радянський розподіл господарської діяльності по територіях, виснаження надр, умовна їх перспективність за тодішніх технологій видобутку тощо) розпочався спад видобутку більшості видів корисних копалин, який значно посилюється в 90-і рр. ХХ ст.

Тільки наприкінці 90-х років видобуток корисних копалин стабілізувався, а по деяких (руди, газ природний, нафта) намітилася тенденція до зростання.

За даними Держкомстату, у 1970 році видобуто нафти, включаючи газовий концентрат, 13,9 млн т, у 2001–2003 рр. показник був найменшим і складав 3,7 млн т. У 2006–2007 рр. він сягнув рівня 4,5 млн т. Газу натурального у 1975 році видобуто 68,7 млрд м³, у 2006 і 2007 рр. – 21,1 млрд м³. Виробництво руд і концентратів залізних неагломерованих характеризується наступними показниками: найбільше у 1980 р. – 125 млн т, у 2007 р. – 77,9 млн т [11].

Для ефективного використання затрат держави і суб'єктів господарювання на надрокористування необхідно вирішувати як важливі проблеми збалансування виробничих потреб у корисних копалинах, їх видобутку, інтенсифікації геологорозвідувальних робіт, оптимізації обсягів перевезень і зберігання мінеральної сировини. Актуальність проблеми визначається як внутрішніми потребами розвитку економіки, так і потребами зовнішньої торгівлі надровими ресурсами.

В Україні обсяги геологічного вивчення надр в основному залежать від показників його фінансування. А показники фінансування з державного бюджету щорічно збільшуються на приріст, що механічно складеться у балансі надходжень і видатків при формуванні проекту Державного бюджету України. Тому обсяги фінансування геологорозвідувальних робіт не можна вважати обґрунтованими.

Обґрунтування положень щодо системності, різнобічності широкомасштабних потреб в економічних ресурсах для вивчення родовищ корисних копалин визначають актуальність вибраної теми досліджень для економічної геології.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Різним проблемам господарського використання ресурсів геологічного середовища (ГС) присвячені праці таких науковців, як Адаменко О.М., Андрієвський І.Д., Бобров О.Б., Гошовський С.В., Гурський Д.С., Коржнев М.М., Красножон М.Д., Малюк Б.І., Михайлов В.А., Міщенко В.С., Пономаренко П.І., Рудько Г.І. та ін. [1, 3 – 10].

Однак аналіз означених проблем розробки теорії глобальних потреб у надрових ресурсах та пошуково-розвідувальних дослідженнях і роботах, як правило, відсутній у наукових публікаціях, хоча в них достатньо детально розглядаються питання економіки мінеральної сировини, глобальної економіки і політики, значна увага приділяється підрахунку запасів корисних копалин, уточненню їх показників, цінам і вартості, економічній ефективності їх видобутку, оподаткуванню гірничих комплексів та ін. [6].

За законодавчою нормою геологічне середовище являє собою частину "... земної кори (гірські породи, ґрунти, донні відкладання, підземні води тощо), яка взаємодіє з елементами ландшафту, атмосферою та

поверхневими водами і може зазнавати впливу техногенної діяльності" [6].

Геологічне середовище Рудьком Г.І. трактується як "...мінеральна речовина, яка перебуває у твердому, рідкому та газоподібному станах і якій притаманні фізичні поля. ГС є системою з трьох фаз, що складається з твердої мінеральної речовини гірських порід, у тому числі й органічного походження, води та інших рідких компонентів (наприклад, рідких вуглеводнів), газів, які є в порах та тріщинах твердої фази або розчинені в підземних водах. Геологічне середовище має фундаментальні властивості, які потрібно враховувати під час його вивчення та аналізу геологічних процесів" [9].

Отже, можна сформулювати визначення: геологічне середовище – це розміщені у земній корі корисні копалини, ґрунти, породи, води і гази, які за потребами підлягають геологічному вивченню.

Надра трактується як частина "...земної кори, що розташована під поверхнею суші та дном водоймищ і простягається до глибин, доступних для геологічного вивчення і освоєння" [6]. На наш погляд, це визначення дає підстави вважати, що геологічне середовище більш вузьке поняття. Тому його пропонується застосовувати для потреб геологічного вивчення родовищ корисних копалин, одночасно супутніх їм порід.

Поняття надр необхідно використовувати переважно для відображення об'єктів і процесів видобування корисних копалин, тобто традиційного надрокористування.

До речі, логічно згодитися з визначенням фахівців, що проведення геологорозвідувальних робіт (ГРР) слід вважати першою стадією комерційного освоєння родовищ корисних копалин за рахунок власних коштів гірничодобувних компаній [8]. На наш погляд, таке визначення справедливе і для проведення ГРР за рахунок державного бюджету, оскільки розвідані родовища також передаються в комерційну експлуатацію.

У літературі також приділяється певна увага економічним заходам стосовно поліпшення екології надрокористування [4, 9]. Висвітлюється актуальні проблема утилізації відходів, особливо токсичних (які є значним резервом господарського використання ресурсів), зниження втрат енергоносіїв та раціонального їх застосування. Так, з вугільних шахт Донбасу щорічно викидається в атмосферне повітря понад 2,7 млрд м³ метану, яких використовується лише 4 – 5 %. Слід зазначити, що прогнозні ресурси цього газу оцінюються на рівні 3,5 млрд м³ [7].

Зниження викидів шкідливих речовин з надр в атмосферу, а також по територіях залишається глобальною актуальною проблемою, яку можна вирішити лише зусиллями світового співтовариства.

Враховуючи актуальність екологічної проблеми, Коржнев М.М., Михайлов В.А., Плотников О.В. у числі розділів економічної геології визначили розділ "Еколого-геологічні дослідження та геолого-економічні оцінки екологічних збитків від використання надр" [5]. Вони пишуть, що "Екологічний стан значної частин території України є критичним внаслідок розвитку підприємств гірничодобувної галузі, який супроводжується інтенсивним використанням надр з великими обсягами видобутку корисних копалин та їх подальшою переробкою" [5]. Така оцінка поширюється на території інших країн світу.

Отже, потреби суттєвого підвищення показників пошуку і видобутку корисних копалин та збереження довкілля належать до глобальних, оскільки подальше збільшення обсягів видобування і переробки мінеральної й органічної сировини дозволить активізувати національне виробництво, отримувати від надрокористувачів до бюджету кошти на розширення пошуково-розвідувальних

досліджень і робіт, розширювати міжнародну торгівлю мінеральною сировиною і продуктами її переробки.

Одночасно потребує особливого вирішення і згада-на екологічна проблема. В Україні залишилося багато регіонів з виснаженими родовищами корисних копалин в результаті інтенсивного використання гірничодобув-ними підприємствами надр з великими обсягами видо-бутку корисних копалин та їх подальшої переробки, в цих регіонах, та в інших мають місце чисельні екологічні проблеми, експлуатуються технологічно застарілі і зношені технічні засоби.

Застосування ефективних технологій пошуку і видо-бутку, наприклад, метану дозволить поповнити відпові-дно до потреб енергетичні ресурси, зменшити забруд-нення атмосфери, число аварій на вугільних шахтах. Для експлуатації шахт, зокрема, необхідні певні техно-логії з обезводнення.

Як відомо, процеси водообміну у поверхневих шарах земель, стан поверхневих та підземних вод впливають на родючість ґрунтів, врожайність сільськогосподарських культур, хімічний склад вирощеної продукції, стан і про-дуктивність лісових екосистем, газообміну в них, зокрема вуглецевого балансу. Аналізований вплив залежить від насиченості вод і ґрунтів шкідливими речовинами, що попали туди в результаті пошуково-розвідувальних до-сліджень і робіт та видобутку корисних копалин. Поліп-шення водно-ґрунтової екології, як пропонується її нази-вати, потребує чималих економічних витрат.

Тому потрібно, як вважають науковці, "...перенести поняття асиміляційного потенціалу геологічного сере-довища з категорії екологічної геології в категорію еко-номічну, яка спроможна реально "працювати" в умовах складного екологічного стану території України і бути складовою економічного механізму регулювання вико-ристання надр (щодо використання геологічного про-стор)" [5]. Ці положення поширюються на території ін-ших країн земної кулі.

Метою написання статті є розробка теоретичних положень глобальних потреб у розширенні пошуково-розвідувальних досліджень і робіт, господарського ви-користання родовищ корисних копалин.

Розробка цієї теорії має важливе макроекономічне значення для визначення:

- потреб країни у: фінансових ресурсах для пошу-ково-розвідувальних досліджень і робіт на перспективу;
- обсягів і структури показників галузевої продукції у міжнародній торгівлі,
- орієнтирів державної політики міжнародного еко-номічного співробітництва та ін.

Виклад основного матеріалу.

Необхідність досліджувати потреби в надрових ре-сурсах як глобальні впливає перш за все з того, що ці ресурси належать до всесвітньо поширених в надрах і у господарському користуванні. До того ж "Глобальна гетерогенність літосфери створює геологічні передумови нерівномірного просторового розподілу мінеральних утворень, які звичайно відносяться до категорії корис-них копалин" [3]. Зазначена нерівномірність зумовлює господарську діяльність по переміщенню корисних ко-палин з територій, де вони є, на території, де в них є потреба. На перших територіях необхідне збільшення пошуково-розвідувальних досліджень і робіт з розраху-нку, що розвідані запаси корисних копалин будуть ви-добути і реалізовані для господарського використання за потребами на інших територіях (регіонах) країни або й інших країн за комерційними угодами.

Таким чином, потреба розширення пошуково-розвідувальних досліджень і робіт суб'єктами господа-

рювання на різних територіях обумовлюється й міжна-родними економічними зв'язками.

Саме кооперація і спеціалізація суб'єктів господа-рювання в переробці корисних копалин у світовому ма-сштабі визначають потреби розширення пошуково-розвідувальних, геодезичних, виробничо-допоміжних та інших видів наукової і виробничої діяльності. Таку дія-льність як комплексну пропонується називати надро-розвідувальним виробництвом (НРВ).

Розвиток надро-розвідувального виробництва необ-хідно розглядати у поєднанні з вирішенням природно-ресурсних, науково-технічних, екологічних і фінансових проблем глобалістики. Для аналізу і синтезу процесів цього виробництва й узагальнень їх результатів доцільно скористатися системним підходом. Рудько Г.І. про-понує досліджувати геосистеми як системи "людина – геологічне середовище", а її межі розглядати від глоба-льних, національних, регіональних до окремого об'єкта, що взаємодіє з ГС [9]. Але оскільки продукти природи до людини надходять для споживання після певних виробничих процесів, тому в економічній геології потрі-бно розглядати й систему "геологічне середовище – виробництво – людина".

Отже, як теоретичне в економічній геології (ЕГ) пра-вомірно застосовувати й згадане поняття надро-розвідувального виробництва. Крім того, його потрібно досліджувати як узагальнене й у системі "геологічне середовище – виробництво – суспільство".

За нашою точки зору, економічна геологія охоплює наукові дослідження безпосередньо об'єктів та процесів задоволення потреб суб'єктів господарювання у сировині і народу у життєвих засобах за рахунок надроресурсів.

Глобалізація як універсальне явище за своєю при-родою охоплює економіку, фінанси, інші сфери держав-ного і громадського життя, є системною інтеграцією ідей, принципів, зв'язків, відносин [13].

Отже, за економічною геологією (ЕГ), глобальні по-треби економік країн у пошуково-розвідувальних дослі-дженнях і роботах слід розуміти як об'єктивно визначені у всесвітньому масштабі оцінки їх обсягів і структури для здійснення першої стадії (проведення ГРР) комер-ційного освоєння родовищ корисних копалин, необхід-них для використання у суспільному виробництві.

За об'єкт глобальних досліджень економічної геоло-гії пропонується прийняти природний стан і геологічного середовища і надр, оскільки земна кора на різних гли-бинах досліджується геологами, спільно з іншими фахі-вцями, не тільки для визначення ресурсів і запасів ко-рисних копалин.

Предметом досліджень економічною геологією гло-бальних потреб є потреби у економіко-фінансових ре-сурсах, необхідних для розвитку надро-розвідувального виробництва.

Завданнями економічної геології у дослідженні глобальних потреб є:

- дослідження видів, структури і динаміки економі-чних потреб суспільного виробництва у надрових ре-сурсах;
- визначення орієнтирів у потребах корисних ко-палин;
- дослідження геологічного середовища для пошу-ку родовищ корисних копалин, потреба в яких не задо-волена у глобальному, територіальному масштабах;
- вивчення стану родовищ корисних копалин, встановлення їх показників, оцінки обсягу потреб, що ними задовольняються;
- оцінка вартості та інших економічних показників видобутку по родовищах корисних копалин, їх ринкових і світових цін;

- встановлення джерел і обсягів фінансування пошуку, розвідки родовищ корисних копалин;
- оцінка витрат на застосування прогресивних технологій досліджень і робіт у геологічному середовищі;
- узагальнена економічна оцінка родовищ корисних копалин для передачі їх в експлуатацію;
- розробка рекомендацій геологічним службам по розвитку геологічного вивчення надр.

Глобальні потреби в надрових ресурсах можна класифікувати за різними ознаками, у тому числі за нагальністю, сферою поширення, часом, фінансовими показниками та іншими.

Розглянемо інші теоретичні положення щодо глобальності аналізованих потреб, їх змісту, особливостей, значимості для розвитку геологічного вивчення надр.

Перш за все відзначимо, що сьогодні ще немає, як прийнято вважати, єдиного погляду на глобалізацію, як явище, як процес, а тим більше на поняття глобалізації потреб, хоча її досліджують різні наукові школи і дають своє визначення терміну глобалізації та інших понять, з ним пов'язаних.

За комплексним підходом глобалізація розглядається як "...комплексне геополітичне, геоекономічне, геокультурне явище, яке має потужний ефект для усіх сторін життєдіяльності суспільства" [12]. На наш погляд, більш правильно визначати її як явище, що супроводжується певною системою наслідків. Так, глобальне потепління, безумовно, є природним явищем, а не політичним, економічним, соціальним. Це явище може бути геофізичним, геоекологічним і т.д.

Розвідка і видобування корисних копалин також належать до геоекономічних та геоекологічних процесів.

Результатом таких процесів, з одного боку, є збільшення ємності світового ринку збуту корисних копалин, продуктів їх переробки, задоволення зростаючих потреб економік в них, а з іншого – гіпертрофічний негативний вплив на довкілля, погіршення здоров'я людей, їх життєвих умов, а також незворотні зміни екосистем, скорочення біорізноманіття територій та ін.

Тому глобалізація процесів масштабного надрокористування потребує об'єднаного стратегічного планування розвитку мінерально-сировинного комплексу світу, здійснюваного на міжнародному рівні з тим, щоб унеможливити наслідки негативних змін у геологічних середовищах з проведенням на територіях господарської діяльності з корисними копалинами та продуктами їх переробки. Безумовно, що таке стратегічне планування ще не отримало наукового обґрунтування, як і методик визначення кількісних і якісних оцінок втрат природних ресурсів у конкретних територіальних і світовому масштабах.

Немає і загально визнаних методик економічних оцінок екологічних збитків від діяльності підприємств сфери надрокористування, їх ліквідації, потреб в екологічній реабілітації територій і т.д., хоча потреба у міжнародному стратегічному плануванні пошуково-розвідувальних досліджень і робіт та згаданих методиках економічних оцінок екологічних збитків від господарської діяльності геологічних і видобувних підприємств є об'єктивною.

Однією з причин аналізованих недоліків є те, що глобалістика як самостійна галузь знань про найнагальніші, планетарні проблеми сучасного й перспективного розвитку людської цивілізації, зокрема в дослідженні і використанні надр, перебуває, на нашу думку, на стадіях свого зародження, оскільки вона не сформувалася як окрема наука, перш за все тому, що не отримала належного фінансування.

Глобалізація і розвивається під впливом комплексу факторів, зокрема поширення міжнародних стандартів суспільного виробництва, створення спільних підприємств, розвитку міжнародної торгівлі, інтернаціоналізації освіти, зближення макроекономічної політики урядів країн і т. ін.

Узагалі, глобалізацію можна розглядати у широкому і вузькому значеннях.

У широкому значенні надрокористування, як глобальний термін, слід ототожнювати з масштабною господарською діяльністю світового розповсюдження.

По-перше, надророзвідувальне виробництво отримало світове розміщення за потребами в продукції. Воно характеризується тенденціями всесвітньо розвиненої інтернаціоналізації, мультинаціоналізації, транснаціоналізації. Правила гри у господарському надрокористуванні, на ринку надрових ресурсів в значній мірі визначаються великими галузевими або міжгалузевими суб'єктами господарювання, зокрема транснаціональними фінансово-промисловими групами, що обумовлює й економічну політику в геологорозвідці.

По-друге, надрові ресурси є об'єктами потреб світової економіки, охоплені світовим ринком, ціни на них регулюються як світові. Тому обсяги господарського використання надрових ресурсів у міжнародному масштабі впливають на світові ціни на товари і послуги виробничого і побутового призначення, розвиток національних економік країн світу, міжнародні економічні зв'язки.

В результаті інтернаціоналізації національних економік, розширення міжнародних політичних, економічних, культурних, фінансових та інших зв'язків створилися зовсім нові відносини між державами, суб'єктами господарювання, народами, політиками, які мають міждержавну, глобальну значимість. Ці відносини визначили й нові глобальні проблеми, які потребують міждержавного вирішення, у тому числі ресурсного забезпечення.

До глобальних належать проблеми: сировинна, енергетична, екологічна, демографічна, фінансова. Причому ці проблеми нерідко взаємозв'язані й для вирішення потребують фінансових ресурсів.

Так, "... енергетична та сировинна проблеми співвідносяться з екологічною, екологічна з демографічною, демографічна з продовольчою і т. д." [14]. Безумовно, що разом з глобальною є фінансова проблема.

Шкоду, що завдана природі техніко-технологічним перетвореннями суспільного виробництва по видобутку і переробці корисних копалин, не можна виміряти обчислюваними сумами.

Не можна навіть оцінити шкоду суспільству і природі в результаті зникнення назавжди певних видів флори і фауни. Невирахуванні затрати необхідні для відтворення видів живої природи, що зникають, зокрема, в результаті розширення надророзвідувального виробництва.

Отже, необхідно виділити поширені у всьому світі узагальнені масштабні потреби в коштах на:

- пошуково-розвідувальні дослідження і роботи у геологічному середовищі;
- гірничодобувне виробництво;
- відтворення видів живої природи;
- екологічні заходи.

Розглянемо узагальнено їх особливості.

Із них тільки витрати на гірничодобувне виробництво мають комерційну значимість, оскільки окупаються у реальному часі.

Стосовно статусу витрат на пошуково-розвідувальні дослідження і роботи перш за все відзначимо: вважається, що при наявності фінансування будь-які проблеми геологічного вивчення надр можуть бути вирішені.

ми. На нашу погляд, у цьому питанні можна визначити дві глобальні проблеми:

1) обґрунтування потреб у фінансових ресурсах для пошуково-розвідувальних досліджень і робіт з тим, щоб була реальна віддача від понесених витрат;

2) зацікавленості інвесторів, надрокористувачів, банків у поєднанні коштів з різних джерел для фінансування пошуково-розвідувальних досліджень і робіт.

Складність обґрунтування потреб у фінансових ресурсах для аналізованих досліджень і робіт визначається певним ризиком вкладання коштів і отримання очікуваних результатів в дослідженні геологічного середовища. Ризики визначаються скритістю, неоднорідністю геологічного середовища та його мінливістю [9].

Складність проблеми залучення коштів для виконання пошуково-розвідувальних досліджень і робіт визначається тим, що їх вкладення має бути не короткостроковим і без певної швидкої віддачі. Таке фінансування потребує вилучення з обороту чималих коштів, суми яких не можуть виділяти навіть більшість банків. Тому потребується, наприклад, об'єднане їх фінансування.

Окремо відзначимо проблему фінансування пошуку і розвідки вуглеводнів, оскільки відкриті їх запаси обмежені. Тому, зокрема, потребою є використання визначених неперспективними нафтових родовищ.

До глобальних належать і потреби розвідки родовищ корисних копалин на великих глибинах. Їх розвідка потребує розробки проектів на застосування новітніх технологій, фінансування їх розробки і впровадження.

Глобальність потреб визначається й таким фактором, як міжнародне економічне співробітництво країн світу, у тому числі й України, поєднаний ринок збуту товарних ресурсів.

Глобальні проблеми і потреби зумовлені й розвитком інформатизації виробництва, зокрема надророзвідувального. Так, Інтернет, як продукт науково-технічного прогресу, розглядається як глобальний ринок інформаційної економіки, що породив і ринок фінансових послуг. З розвитком комп'ютеризації й електронізації все ширшають потреби застосування геоінформаційних технологій дослідження наявності і стану родовищ корисних копалин, обсягів їх запасів та інших показників.

Науково-технічний прогрес зумовив техніко-технологічні інтеграційні процеси, оскільки появились нові покоління уніфікованої виробничої техніки, зокрема для геологічної галузі. Міжнародна торгівля ними зумовила потребу у створенні єдиних стандартів, транспортних засобів, навіть тари для перевезення мінеральної сировини, продуктів її переробки, уніфікованих електричних мереж для використання виробничої техніки й т. д.

Глобальні зміни в структурі й обсягах промислової продукції за динамічним попитом на неї обумовлюють потреби масштабних зрушень в обсягах і структурі забезпечення мінерально-сировинними ресурсами її виробництва, вирішення проблем оптимізації розміру партій і збереження якості запасів, транспортування готової продукції тощо.

До глобальних потреб належать і потреби спільного освоєння та використання природних ресурсів, зокрема ресурсів дна морів, Світового океану, космосу.

Проблеми природокористування, у тому числі надрокористування, можна розглядати як глобальні, якщо вони поширюються на світові масштаби або визначають потреби у вирішенні зусиллями кількох держав. Наслідком нерозв'язання їх є певні загрози в погіршенні економічного і екологічного розвитку суспільства, умов життя населення.

Для розв'язання екологічних завдань потребується міжнародне фінансування науково-технічних заходів, а

також необхідна скоординована діяльність урядів ряду країн, а то й зусиль світового співтовариства в мобілізації грошових ресурсів банківської системи на потреби збереження довкілля.

До речі, "Сучасне середовище міжнародної діяльності банківських інститутів, включає в себе фінансову глобалізацію, глобальний банківський продукт, глобальний банківський простір, динаміку фінансової глобалізації, можливості та загрози процесів фінансової глобалізації". Тому "Міжнародна діяльність банківських інститутів забезпечує диверсифікацію форм світогосподарських зв'язків, інтеграцію національної банківської системи у світовий кредитний ринок та ринок капіталів з метою залучення фінансових ресурсів" [2]. Однак, функціонування інтегрованої банківської системи у світогосподарській сфері потребує глобального вирішення проблем інформатизації процесів з грошовими ресурсами, міжнародних розрахунків за товари і послуги, зберігання валюти й т. ін. У числі завдань цієї системи, безумовно, є фінансування досліджень і робіт з пошуку і розвідки корисних копалин, їх видобування.

Ці положення особливо актуальні для природно-ресурсної галузі, енергетики, чорної металургії, хімічної промисловості, оскільки обмеженість у ресурсах цих економічних сфер суттєво впливає на розвиток суспільного виробництва, його потреби у фінансових ресурсах, навіть на політичну стабільність й економічну безпеку країн.

Таким чином, вирішення виробничих, природно-ресурсних глобальних проблем світової спільноти супроводжується виникненням серйозних фінансових проблем і потреб у фінансових ресурсах для їх вирішення. Тому особливу актуальність мають дослідження фінансового напрямку глобалістики, які потребують співпраці науковців різних країн і відповідного міжнародного фінансування.

Висновок і пропозиції. Узагальнено зазначимо, що глобальною залишається проблема задоволення потреб економік країн світу у мінеральній сировині. Її вирішення потребує розширення пошуково-розвідувальних досліджень і робіт з тим, щоб передбачати, а то й планувати розвиток виробництва, залежних від надрових ресурсів.

Пропонується, щоб економічна геологія досліджувала у світовому масштабі показники динаміки і структури потреб економік країн, їх населення у надрових ресурсах, відповідно і потреби економічного відтворення корисних копалин, відповідні потреби у фінансових, трудових і технічних ресурсах для конкретних надророзвідувальних виробництв. Розвиток цих виробництв обумовлює й інтенсифікацію процесів науково-технічного прогресу в надрокористуванні.

До глобальних пропонується віднести потреби пошуку й розвідки енергоресурсів, зокрема, на великих глибинах, застосування нових технологій, фінансування, кредитування дослідження надр.

До глобальних належать потреби у відновлювальному виробництві, відновлюваних джерелах енергії, паливно-енергетичних ресурсах, зокрема в нафті і природному газу, атомній енергії, бурому вугіллі. Забезпечення потреб у цих ресурсах, безумовно, у значній мірі залежить від результативності пошуково-розвідувальних робіт, економічного надрокористування.

1. Андрієвський І.Д. Коржнев М.М., Пономаренко П. І. Реформування економічного механізму користування надрами: регулятора економічної, екологічної та соціальної безпеки країни. – К., 2005. 2. Барилюк Н.Н. Міжнародна діяльність банківських інститутів в умовах глобалізації / Актуальні проблеми і перспективи розвитку економіки України (в контексті глобалізації) / Мат. Всеукр. науч.-практ. конф. Алушта, 29 вересня – 1 жовтня 2004 года. – Симферополь, 2004. 3. Гошовський С.В., Малюк Б.І. Мінерально-сировинний бізнес (огляд світової практики): Навч.

посіб. – К., 2008. 57. 4. Гурський Д.С. Концептуальні засади державної мінерально-сировинної політики щодо використання стратегічно важливих для економіки країни корисних копалин. – Львів, 2008. 5. Коржнев М.М., Михайлов В.А., Плотников О.В. Ця нова "стара наука" – економічна геологія. – Геолог України. – 2004. – №4. – Жовтень-грудень. – С.18 – 22. 6. Малюк Б.І. Бобров О.Б., Красножон М.Д. Надрокористування у країнах Європи і Америки: Довідникове видання. – К., 2003. 196 – 197. 7. Міщенко В.С. Економічні пріоритети розвитку і освоєння мінерально-сировинної бази України: Монографія. – К., 2007. 8. Основи економічної геології: Навч. посіб. для студ. геол. спец. вищ. навч. закл. освіти /М.М. Коржнев, В.А. Михайлов, В.С. Міщенко та ін. – К., 2006. 9. Ресурси геологічного середовища і екологічна безпека техноприродних гео-

систем: Монографія / За ред. Г.І. Рудька. – К., 2006. 10. Рудько Г.І., Адаменко О.М. Землелогія. Екологоресурсна безпека Землі / За ред. Г.І. Рудька. – К., 2009. 11. Статистичний щорічник України за 2007 рік / Держкомстат України/ За ред. О.Г. Осауленка. – К., 2008. 12. Стукало Н.В. Глобалізація та розвиток фінансової системи України. – К., 2005. – С. 29 – 35. 13. Тимченко С.М., Удовика Л.Г. Глобалізація і право: напрями впливу і тенденції розвитку: 36. наук. ст. Юридичні науки. / Запоріжжя, – 2009. – № 1. – С. 6 – 22. 14. Федоренко В.Г., Ніколенко Ю.М., Діденко О.М. та ін. Основи економічної теорії: Підр./ За наук. ред. проф. Федоренко В.Г. – К., 2005.

Надійшла до редколегії 30.11.09

КОЛЕКЦІЇ ГЕОЛОГІЧНОГО МУЗЕЮ

УДК 562: 551. 72. (478.9)

В. Нестеровський, д-р геол. наук, Р. Фурдуй, канд. геол.-мінералог. наук, О. Вакуленко, інж.

КОЛЕКЦІЯ ЕДІАКАРСЬКОЇ (ВЕНДСЬКОЇ) ВИКОПНОЇ ФАУНИ З ПРИДНІСТРОВ'Я В ГЕОЛОГІЧНОМУ МУЗЕЇ КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА, ЯК НАЦІОНАЛЬНЕ НАДБАННЯ УКРАЇНИ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. – мінералог. наук, проф. В.В. Шевчуком)

Пропонується надати статус національного надбання України колекції вендських викопних тварин з Придністров'я, яка зберігається в геологічному музеї Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

It is proposed to announce the collection of the ediacarian (vendian) fossilized fauna from Dniesterside keeping in the geological museum of the Kyiv national Taras Shevchenko University as a national property of Ukraine.

Залишки едіакарської фауни вендського віку на Землі зустрічається дуже рідко. Вперше цей викопний комплекс організмів було знайдено у 1940 році в Австралії, в районі рудника Едіакара (звідки й назва комплексу). Пізніше викопні рештки цього віку були встановлені в Намібії, Америці, Росії (райони Білого моря та басейну р. Анабар), Англії, Канаді та Китаї. В Україні єдине місце, де розповсюджені ці викопні рештки – район Подільського Придністров'я.

Залишки цих примітивних Metazoa мають великий інтерес для палеонтологічної науки. По-перше, тому, що це – найдревніші багатоклітинні організми, що з'явилися на Землі, за сучасними даними, 585 + – 10 млн. р. тому. По-друге, затвердився погляд на вендсько-едіакарську фауну не як на предків фанерозойської, а як на цілком самостійну групу. Деякі зарубіжні дослідники наполягають навіть на тому, що едіакарська фауна складає особливу групу організмів – так званих вендобіонтів, які вимерли у венді не залишивши потомків.

Характерною ознакою едіакарського комплексу організмів є відсутність у них твердого скелету та внутрішніх органів, осмोटрофний спосіб харчування.

Едіакарські організми проіснували на Землі біля ста мільйонів років і вимерли, не залишивши еволюційних нащадків. На зміну їм в кембрійському періоді палеозойської ери з'явилися тварини з черепашками, панцирями, та іншими типами твердого скелету.

Отже, вивчення едіакарської фауни має велике значення для розшифровки ходу еволюції життя на Землі.

Едіакарський комплекс України викликає значний інтерес з боку геологічної громадськості світу, свідченням чого є, наприклад, спеціальна екскурсія, що була організована для учасників XXVII Міжнародного геологічного конгресу (1984 р.) і користувалась великою популярністю у делегатів.

На лівобережжі р. Дністра, в районі Дністровської ГЕС палеонтологічні рештки едіакарського комплексу присутні в природних відслоненнях струмків і ярів, а також в розкритті котлованів, споруджених під час будівництва ГЕС. В результаті досліджень українських геологів Є.А. Асєєвої, В.М. Палія, В.А. Веліканова, В.С. Заїка-Новачького, Л.І. Константиценка, О.К. Каптаренко, Ю.А. Гурєєва, А.Ш. Менасової, російських –

Б.С. Соколова, М.А. Федонкіна, Д.В. Гражданкіна та ін., тут були зібрані зразки викопних решток організмів едіакарського комплексу. Монографічне вивчення цих організмів проводилось при підготовці кандидатських дисертацій В.М. Палієм, Д.В. Гражданкіним, А.Ш. Менасовою та докторських В.С. Заїка-Новачьким та М.А. Федонкіним (Москва) докторських дисертацій. Вказані автори дисертацій, а також численних наукових статей довели велику наукову цінність і унікальність дністровського місцезнаходження едіакарської фауни.

Колекція едіакарської фауни, що зберігається в палеонтологічному відділі Геологічного музею КНУ, налічує 154 одиниці збереження. В експозиції та фондах – представники 19 родів та видів, в тому числі 13 голотипів, а також 25 зразків їхнофосилій (рис. 1). Деякі представники відомі також і в комплексах едіакарської фауни районів Білого моря, Сибірської платформи, Англії, Намібії та Австралії.

Вендський вік скам'янілих організмів нашої колекції однозначно підтверджується їх положенням в стратиграфічному розрізі, порівняннями з типовими вендськими комплексами інших регіонів світу, а також аналізами абсолютного віку вміщуючих осадових товщ.

Унікальність даної колекції зумовлена такими ознаками:

1. Палеонтологічні рештки едіакарської фауни в нашому музеї представляють єдине на території України місцезнаходження цієї фауни – розріз верхнього венду Подільського Придністров'я.

2. Цей розріз має перевагу перед іншими місцями залягання едіакарської фауни в світі в тому, що налічує велику систематичну різноманітність органічних решток та доступність відслонення. Це дає змогу розглядати питання про прийняття цього розрізу, як гіпостратотипу для Східноєвропейської платформи. Колекція, що зберігається в нашому музеї – єдина в Україні, що найбільш повно ілюструє цей розріз.

3. Колекція досить повно характеризує склад і типові особливості вендської біоти.

4. Рештки вендських організмів мають добру збереженість і містять характерні морфологічні ознаки для цього типу фауни.

5. Колекція має велику наукову цінність, тому що дає змогу розшифрувати і уточнити дані про хід еволюції багатоклітинних організмів на Землі.

6. Значна кількість фондового матеріалу та його відносно добра збереженість дозволяє застосувати нові сучасні методи досліджень, такі як визначення вмісту органогенного вуглецю, генетичні аналізи, вміст біохімічних сполук і т.п.

7. Велика кількість екземплярів дозволяє проводити обмін з колекціями інших музеїв та геологічних організацій світу – для цього є відповідний резерв.

8. Несхожість з тваринами, що виникли в кембрії, відсутність еволюційного продовження, окреме місце в еволюції Metazoa, древність даної групи організмів (це фактично перші тваринні рештки на Землі), дає змогу

виділити цю групу, як унікальну серед інших систематичних груп фауни, що зберігаються в палеонтологічних музеях України.

9. Експозиція і фонди нашого музею в порівнянні з іншими найбільш повні – тут є екземпляри нових родів та видів, визначені відомими спеціалістами – палеонтологами України та Росії. В колекції – як конкретні палеонтологічні види, так і сліди життєдіяльності вендських організмів.

Вказані особливості колекції дозволяють ставити питання про надання колекції вендської фауни Придністров'я, яка зберігається в Геологічному музеї КНУ, статусу національного надбання України.



Рис. 1. Відбитки *Nemiana simplex* Palij

Опис колекції едіакарської фауни палеонтологічного відділу Геологічного музею КНУ.

Колекція зберігається і експонується в залі Палеонтологія Геологічного музею. Номер колекції 17 п. Крім цього, зразки едіакарської фауни представлені у вітрині "Венд" розділу музею "Історична геологія".

Всього одиниць зберігання в музейному каталозі – 154, але більшість геологічних зразків має декілька, а деякі дуже велику кількість відбитків та ядер викопних особин (наприклад, три плити пісковика з відбитками *Nemiana simplex* Palij мають кожна більше як 300 відбитків, решта – від 1 до 100 відбитків)

За браком вітринної площі в експозиції представлені 10 з 19 викопних родів едіакарських організмів, решта знаходиться в фондах. Там же зберігають і голотипи.

Перелік родів та кількість одиниць збереження едіакарської фауни (де не вказано кількість видів, там в наявності один вид)

1. *Nemiana* – 32 зразки. 2. *Cyclomedusa* – 8 зр., 2 види. 3. *Tirassiana* – 8 зр. 2 види. 4. *Rugonifractus* – 1 зр. 5. *Atakia* – 1 зр. 6. *Bronicella* – 13 зр. 7. *Palaeopascichnus* –

13 зр. 8. *Beltanelloides* – 1 зр. 9. *Nimbria* – 23 зр., 2 види. 10. *Helminthoidichnus* – 1 зр. 11. *Ediacaria* – 6 зр. 12. *Palaeospincter* – 8 зр. 13. *Paliella* – 7 зр. 14. *Planomedusites* – 1 зр. 15. *Harlaniella* – 4 зр. 16. *Orlaniella* – 4 зр. 17. *Berganeria* – 2 зр. 18. *Gureevella* 1 зр. 19. *Medusinites* – 1 зр.

Крім визначених видів ряд зразків є слідами життєдіяльності вендських організмів – це сліди повзання, харчування, ходи червів, інших риучих організмів та рослинні відбитки – 25 зразків.

1. Глесснер М.Ф. Эдиакарская фауна и ее место в эволюции Metazoa. / "Корреляция докембрия", – Т. I, – М. 1977. С. 257 – 261. 2. Заїка-Новацкий В.С., Палий В.М. Древнейшие ископаемые организмы в отложениях вендского комплекса Приднестровья / Палеонтологический сб. Львовского университета, – Л., 1974. 3. Менасова А.Ш. Нові представники вендської біоти з місцезнаходжень Поділля / Теоретичні та прикладні аспекти сучасної біостратиграфії фанерозою України. Зб. наук. пр. ІГН НАНУ, – К., 2003. С.139 – 142. 4. Федонкин М.А. Органический мир венда/ Итоги науки и техники. – М., – Т. 12. Стратиграфия, Палеонтология, 1983.

Надійшла до редколегії 15.01.10

Наукове видання



ВІСНИК

КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

ГЕОЛОГІЯ

Випуск 51

Друкується за авторською редакцією

Оригінал-макет виготовлено Видавничо-поліграфічним центром "Київський університет"

Автори опублікованих матеріалів несуть повну відповідальність за підбір, точність наведених фактів, цитат, економіко-статистичних даних, власних імен та інших відомостей. Редколегія залишає за собою право скорочувати та редагувати подані матеріали. Рукописи та дискети не повертаються.



Підписано до друку 28.05.10. Формат 60x84/8. Вид. № 58-3. Гарнітура Arial. Папір офсетний.
Друк офсетний. Наклад 300. Ум. друк. арк. 6,7. Обл.-вид. арк. 10,0. Зам. № 210-5263.

Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет"

01601, Київ, б-р Т. Шевченка, 14, кімн. 43,

☎ (38044) 239 32 22; (38044) 239 31 72; (38044) 239 31 58; факс (38044) 239 31 28

E-mail: vpс.univ.kiev.ua