

УДК 504+528+550+551+552+553+556+624

Наведено результати геологічних, стратиграфічних, палеонтологічних, гідрогеологічних, геофізичних та геоінформаційних досліджень викладачів та наукових співробітників геологічного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

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.-мінералог. наук, проф.; О.М. Карпенко, д-р геол. наук, проф.; М.М. Коржнев, д-р геол.-мінералог. наук, проф.; І.М. Корчагін, д-р фіз.-мат. наук; О.Є. Кошляков, канд. геол.-мінералог. наук, доц.; В.М. Курганський, д-р геол.-мінералог. наук, проф.; О.І. Лукієнко, д-р геол.-мінералог. наук, проф.; Б.П. Маслов, д-р фіз.-мат. наук, проф.; О.Ю. Митропольський, чл.-кор. НАН України, д-р геол.-мінералог. наук, проф.; В.А. Михайлов, д-р геол. наук, проф.; В.А. Нестеровський, д-р геол. наук, доц.; В.І. Павлишин, д-р геол.-мінералог. наук, проф.; Г.Т. Продайвода, д-р фіз.-мат. наук, проф.; М.І. Толстой, д-р геол.-мінералог. наук, проф.; Ю.К. Тяпкін, д-р фіз.-мат. наук, проф.; В.В. Шевчук, д-р геол.-мінералог. 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 10.02.10 року (протокол № 7)
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

Вижва С., Рева М., Гожик А., Онищук В., Онищук І. Петроелектричні дослідження керну складнобудованих порід-колекторів	4
Маковець О., Карпенко О., Башкіров Г. Оцінка нафтогазонасичення порід майкопу родовища Субботіна за даними комплексу ГДС	7
Кулиев Г., Агаев Х., Ширинов Н. Исследование влияния давления на значения упругих параметров геологической среды на основе сейсмических и скважинных данных	10
Кендзера О., Скляр О., Лісовий Ю., Корнієнко Є., Семенова Ю. Визначення рівня сейсмічної небезпеки будівельного майданчика НСК "Олімпійський" в м. Києві	16
Безродна І. Вивчення площадних закономірностей зміни ємнісних властивостей порід-колекторів за даними комплексу методів ГДС	22
Бондар К., Самчук А., Стахів І., Слободяник І. Нагромадження магнітного забруднення і важких металів у ґрунтах і рослинному покриві міста Києва	26

ГЕОІНФОРМАТИКА

Вижва С., Дейнеко С., Асташкіна О. Застосування радіоактивних методів в системі гідрогеологічного моніторингу техногенно-навантажених територій	31
Жуков М., Тішасва А. Оцінка стану підтоплення за даними дистанційного зондування методом багатовимірної статистичної класифікації на основі моделі композиційних розподілів	34
Азімов О. Геоінформаційні технології у концепції створення узагальненої схеми обробки/інтерпретації даних дистанційного зондування Землі	37
Кошляков О., Диняк О., Кошлякова І. Забезпечення вихідними даними математичних гідрогеологічних моделей при моделюванні потоків ґрунтових вод на урбанізованих територіях	40
Аксьом Н., Аксьом О. Розробка інженерно-геологічного розділу геоінформаційної бази даних м. Києва	43
Миколенко Л. Особливості методики застосування даних ДЗЗ в системах моніторингу зсувонебезпечних територій	46

ЗАГАЛЬНА ТА ІСТОРИЧНА ГЕОЛОГІЯ

Іванік О. Механізм формування осуви складної природи у с. Красник (нижня течія р. Чорний Черемош)	49
Половка С. Морські геологічні дослідження вчених України в Антарктиці	52

МІНЕРАЛОГІЯ, ГЕОХІМІЯ ТА ПЕТРОГРАФІЯ

Павлова О., Пономаренко О. Ретроспективний структурогенетичний та геотермохронометричний моніторинг метаморфічних та тектонічних подій у докембрії (на прикладі Українського щита)	55
---	----

ЕКОНОМІЧНА ГЕОЛОГІЯ

Бодюк А. Напрями і методи досліджень економічної геології	57
---	----

CONTENTS

GEOPHYSICS

Vyzhva S., Reva M., Gozhik A., Onyschuk V., Onyschuk I. Petroelectrical investigations of borehole core of complexly-build reservoir rocks	4
Makovets O., Karpenko O., Bashkirov G. Estimation of Maikop rocks oil-and-gas saturation of Subbotina field according to well survey complex	7
Guliyev H., Aghayev H., Shirinov N. The research of the influence of the pressure to the values of elastic parameters of geological medium on the basis of seismic and well data	10
Kendzera A., Sklar A., Lisovyi Iu., Korniyenko Y., Semenova Y. The seismic hazard determination of the building site of NSC "Olimpiyskiy" in Kyiv	16
Bezrodna I. Study of areal regularities of changes in capacitive properties of reservoirs according to logging date	22
Bondar K., Samchuk A., Stakhiv I., Slobodyanyk I. Accumulation of magnetic pollution and heavy metals in soils and vegetation of Kyiv city	26

GEOINFORMATICS

Vyzhva S., Deineko S., Astashkina O. Application radioactive methods in the system of hydro-geological monitoring of territories of the technogenic loading	31
Zhukov M., Tishaieva A. Multidimensional statistical classification based on compositional model of data distribution in case underflooding monitoring	34
Azimov O. Geoinformation technologies for the conception of generation of the generic flowchart of remote sensing data processing and interpretation	37
Koshlyakov O., Dyniak O., Koshlyakova I. Providing by basic data of mathematical hydrogeological models at the design of streams of the ground waters on the urbanized territories	40
Axyom N., Axyom O. Development of engineering geological section of geodatabase of Kyiv	43
Mykolenko L. Features of a technique of use the remote sensing data in the geophysical monitoring systems of dangerous creep processes	46

GENERAL AND HISTORICAL GEOLOGY

Ivanik O. Formation mechanism of the complex landslide in Krasnik village (Cherniy Cheremosh river basin)	49
Polovka S. Marine geological research of Ukrainian scientists in the Antarctic	52

MINERALOGY, GEOCHEMISTRY AND PETROGRAPHY

Pavlova O., Ponomarenko O. Retrospective of structuregenetical and geothermochronometrical monitoring of metamorphism and tectonic events in Precambrian (an example of the western region of the Ukrainian shield)	55
--	----

ECONOMICAL GEOLOGY

Bodyuk A. Objectives and methods of economical geology	57
--	----

УДК 550.83:552.1:537

С. Вижва, д-р. геол. наук, М. Рева, канд. фіз.-мат. наук, А. Гожик, канд. геол.-мін. наук,
В. Онищук, асп., І. Онищук, канд. геол. наук

ПЕТРОЕЛЕКТРИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КЕРНУ СКЛАДНОПОБУДОВАНИХ ПОРІД-КОЛЕКТОРІВ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. О.М. Карпенком)

Розглядаються особливості методики та результати петроелектричних досліджень при вивченні складнобудованих карбонатних колекторів. Наведено результати визначення питомого електричного опору та його зв'язок з ємнісними та фільтраційними властивостями на колекції із 33 зразків при лабораторних умовах та умовах, що моделюють пластові.

The features of method and results of petroelectrical investigation of complex-structured terrigenous reservoir are considered. As well results of determination of specific electric resistance and his connection with capacity and filtration properties of 33 sample's collection in the laboratory conditions and modeling of rock unit conditions.

Вступ. Перспективи приросту запасів вуглеводнів значною мірою пов'язані із складнобудованими карбонатними колекторами. В світі в останні роки до 70 % ресурсів вуглеводнів відкриті в карбонатних колекторах.

В той же час зв'язки між ємнісно-фільтраційними характеристиками і даними свердловинних і польових геофізичних методів є досить складними і потребують ретельного вивчення, основою для цього є комплекс лабораторних досліджень.

Одним із найбільш інформативних параметрів при визначенні геоелектричних властивостей гірських порід є питомий електричний опір (ρ). Цей параметр визначається: речовинним складом та текстурою породи; її нафто-, газо-, водонасиченістю; коефіцієнтом пористості; структурою ємнісного простору; мінералізацією пластових вод; температурою і тиском [1-6].

Метою визначення питомого електричного опору породи є уточнення меж його зміни для окремих типів і груп порід; виділення окремих стратиграфічних підрозділів, розрізів та фацій; встановлення характеру залежності питомого опору порід від мінерального складу, структури порового простору, співвідношення фаз речовини, частоти і напруженості електричного поля; виявлення характеру зміни питомого електричного опору при епігенетичному перетворенні та метаморфічних змінах гірських порід.

Особливий інтерес представляє встановлення основних факторів, що впливають на зміну питомого електричного опору. Зокрема, комплексні петрографічні, геохімічні та петроелектричні дослідження дозволяють встановити зв'язки між електричним опором та мінеральним складом зразків керну. Петроелектричні дослідження до і після екстрагування зразків та після їх насичення моделлю пластової рідини дозволяють оцінити вплив солей і пустот на цей параметр. Відомості, одержані в результаті лабораторних досліджень змін питомого електричного опору порід, використовуються при інтерпретації результатів методів електрометрії свердловин та електророзвідки а також для вирішення багатьох інших геологічних задач.

В статті наведені особливості і результати лабораторних петроелектричних досліджень керну з інтервалу 3010 – 3022 м нафтогазопошукової свердловини, що розташована в центральній частині Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ). Породи з дослідженого інтервалу представлені переважно вапняками в різній мірі зміненими.

Методика лабораторних петроелектричних досліджень. Питомий електричний опір гірських порід в

лабораторних умовах визначався шляхом вимірювання електричного опору зразка спеціальної форми, виготовленого з керну свердловини. Зразки мали форму циліндрів діаметром 30 мм і довжиною 30 мм. Електричний опір (R) зразка породи може бути виміряний багатьма способами, які розділяються на дві основні групи: безпосередньої оцінки і способом порівняння у рівноважному режимі. У кожній з названих груп існують модифікації прямих (приладом вимірюється електричний опір) і непрямих способів (приладом вимірюється різниця потенціалів на зразку (ΔU) та на еталонному опорі R_{em} (ΔU_{em}) у вимірювальному електричному ланцюзі, або різниці потенціалів на зразку (ΔU) та сили струму (I) з подальшим розрахунком опору зразка за формулами $R_{zp} = (\Delta U / \Delta U_{em}) \cdot R_{em}$ або $R_{zp} = \Delta U / I$. Вимірювання можуть бути виконані як на постійному, так і на змінному струмах. При використанні прямих способів безпосередньої оцінки опору на постійному струмі вимірювання проводяться омметром (мегаомметром, тераомметром); при застосуванні непрямих способів на постійному струмі, вимірювання здійснюються вольтметром, вольтметром-амперметром, вольтметром-амперметром з охоронним кільцем, вольтметром – електрометром. При непрямих способах вимірювань на змінному струмі використовують вольтметр і вольтметр-амперметр. При цьому широко застосовуються мостові схеми.

При наших дослідженнях лабораторні електрометричні вимірювання сухих зразків вапняків виконані за допомогою цифрового тераомметра С.А 6547, що дозволяє виконувати високоточні вимірювання електричного опору в діапазоні від 10 кОм до 10 ТОм з цифровим записом на ЕОМ за спеціальною програмою. При насиченні зразків розчином NaCl (моделлю пластової рідини, $M=150$ г/л) визначення електричного опору зразків виконувались за допомогою вимірювача опору Ф-4103-М1 і комплекту апаратури "ЕРП-1" на постійному та змінному струмі. Вимірювання виконувались по двохелектродній схемі при лабораторній температурі $20^\circ - 21^\circ$ С. Циліндричні зразки при вимірюванні вставлялися в спеціальний кернотримач з електродами, що не поляризуються (виготовлені із спеціальної графітізованої гуми). Середня відносна похибка визначення електричного опору на серії із 10 зразків складала 2,9 %.

При обробці матеріалів лабораторних електрометричних досліджень питомий електричний опір зразка визначався за формулою $\rho = \frac{R}{\frac{1}{d} + \frac{4l}{\pi d^2}}$, де l – довжина

циліндричного зразка, d – діаметр циліндричного зразка, R – електричний опір системи "опір зразка + перехідний опір електродів". Параметр пористості P визначається за формулою $P = \rho_{\text{вп}} / \rho_{\text{в}}$, де $\rho_{\text{вп}}$ – питомий опір на 100% водонасиченої породи, $\rho_{\text{в}}$ – питомий опір води.

Результати електрометричних досліджень. Досліджений інтервал свердловини (глибина 3010 – 3022 м) представлений вапняками піщанистими та вапняковими пісковиками, тонко- і дрібнозернистими, тонко- грубо смугастими в різній мірі змінених. Зустрічаються прошарки глинистого матеріалу та аргілітів, включення органічних залишків та піритизація. Лабораторні електрометричні дослідження виконані для колекції із 33 зразків. За результатами лабораторних вимірювань встановлено, що значення питомого електричного опору виміряні на екстрагованих зразках (питомий електричний опір мінерального скелета) змінюється від 150 до 350000 Ом·м при середньому значенні 46800 Ом·м. При цьому спостерігаються значні варіації значень питомого опору зразків, що пояснюється неоднорідностями в текстурі порід (наявність глинистих і піщанистих прошарків та їх невпорядкованість, а також піритизація).

За значеннями питомого електричного опору мінерального скелету зразків в досліджуваному інтервалі свердловини виділено три групи порід:

1. породи з низькими значеннями питомого електричного опору (ρ) мінерального скелету – ρ змінюється від 150 Ом·м до 550 Ом·м при середньому значенні 315 Ом·м (9 зразків);

2. породи із середніми значеннями питомого електричного опору мінерального скелету – ρ змінюється від 1200 Ом·м до 6000 Ом·м при середньому значенні 2930 Ом·м (11 зразків);

3. породи із високими значеннями питомого електричного опору мінерального скелету – ρ змінюється від 11200 Ом·м до 350000 Ом·м при середньому значенні 107960 Ом·м (13 зразків).

Слід відмітити, що середнє значення коефіцієнта відкритої пористості зменшується від першої групи до третьої з коефіцієнтом 0,54 – 0,65.

Аналіз даних вимірювання питомих електричних опорів при насиченні зразків моделлю пластової рідини, показує що вищенаведена тенденція зберігається. При цьому опір порід першої групи змінюється від 3,6 Ом·м до 8,6 Ом·м, середнє значення – 5,9 Ом·м; другої групи – від 13 Ом·м до 51 Ом·м, середнє значення складає 25,4 Ом·м; третьої групи – від 21,2 Ом·м до 64 Ом·м, середнє значення складає 36,5 Ом·м.

За результатами комплексного аналізу електрометричних та геохімічних даних встановлено, що вміст породоутворюючих окислів зростає в породах 2 групи в порівнянні з породами третьої групи: TiO_2 в 1,06, Al_2O_3 в 1,52, K_2O в 2,08, P_2O_5 в 1,26 раз, хлору та зв'язаної води, відповідно, в 9 і 1,31. Вміст породоутворюючих окислів зростає в породах 1 групи в порівнянні з породами 3 групи: TiO_2 в 3,29, Al_2O_3 в 3,79, K_2O в 4,57, P_2O_5 в 2,08 раз, хлору та зв'язаної води, відповідно, в 12 і 5,19. В той же час вміст CaO зменшується для третьої групи – 0,91, для першої групи – 0,37 від вмісту в породах третьої групи.

За матеріалами лабораторних досліджень побудована кореляційна залежність (рис. 1) між коефіцієнтом пористості (k_n) і параметром пористості (P). Визначене рівняння Арчі має вигляд: $P = 0,9187 \cdot k_n^{-1,3437}$, при $R^2 = 0,8946$.

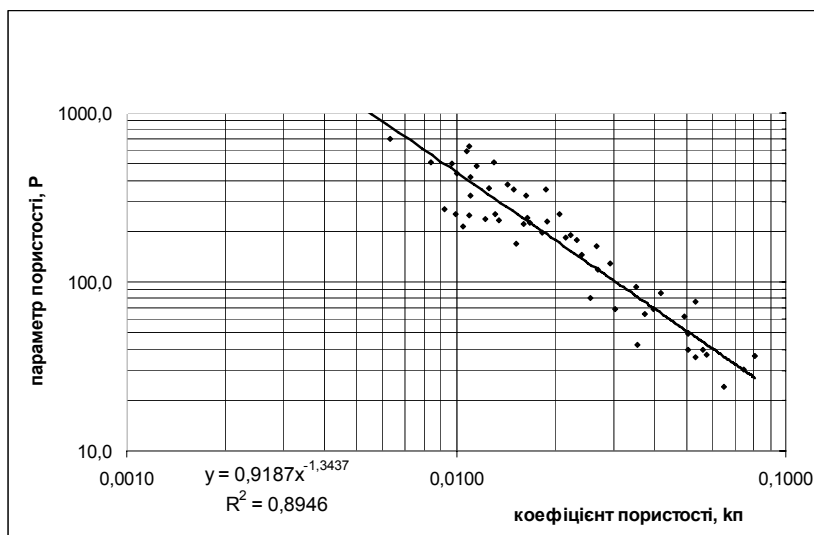


Рис. 1. Кореляційна залежність між коефіцієнтом пористості (k_n) та параметром пористості (P) – рівняння Арчі (лабораторні умови)

Виконані дослідження зміни питомого електричного опору при відгонці залишкової води на центрифугі ОС-6М (від 1000 до 6000 об/хв. з кроком 1000 об/хв., прискорення від 122 g до 4400 g). Встановлено кореляційну залежність параметра насичення (P_H) від коефіцієнта їх водонасичення (k_e):

$$P_H = 1,2194 \cdot k_e^{-2,975}, \text{ при } R^2 = 0,7303,$$

де $P_H = \rho_{\text{нп}} / \rho_{\text{пв}}$, $\rho_{\text{нп}}$ – питомий електричний опір неповністю водонасичених порід, $\rho_{\text{пв}}$ – питомий електричний опір повністю водонасичених порід. Ця кореляційна залежність представлена на рис. 2.

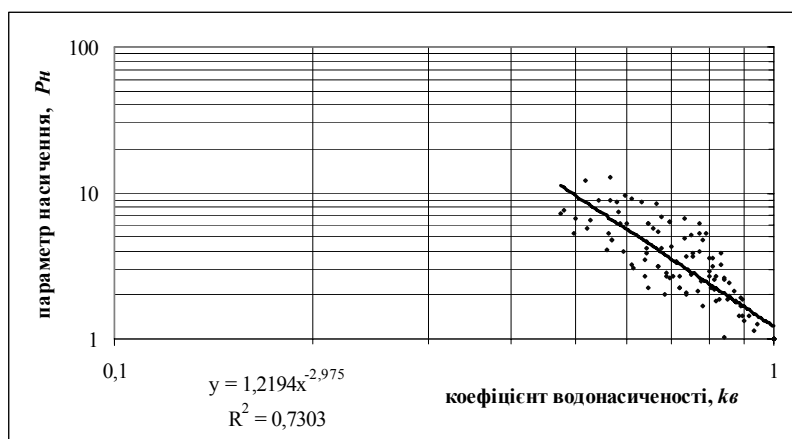


Рис. 2. Кореляційна залежність між коефіцієнтом водонасиченості (k_v) та параметром насичення (P_n)

Для оцінки питомого електричного опору порід в пластових умовах виконані його вимірювання на спеціальній установці високого тиску ВСЦ-1 при зміні тиску від атмосферного до 600 кгс/см².

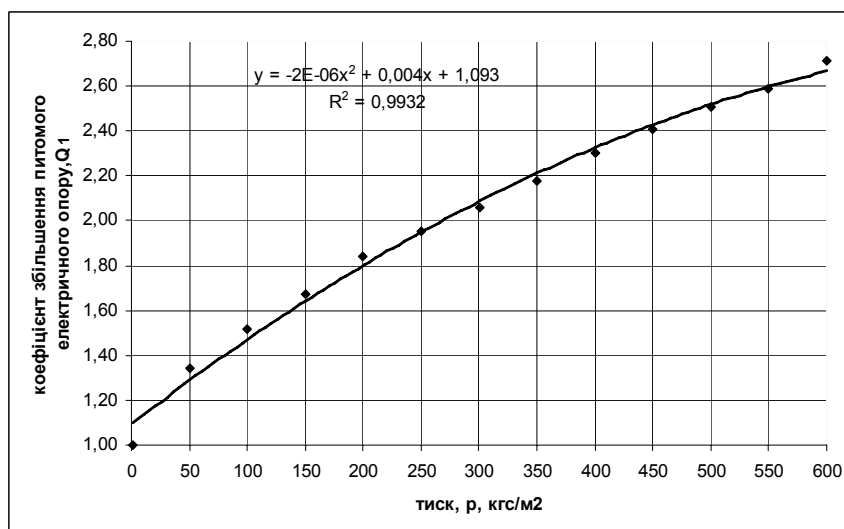


Рис. 3. Кореляційна залежність коефіцієнта збільшення питомого опору досліджених порід (Q_1) від пластового тиску (p)

Визначена залежність середнього значення коефіцієнта збільшення питомого електричного опору (Q_1) від пластового тиску (p):

$$Q_1 = -2 \cdot 10^{-6} \cdot p^2 + 4 \cdot 10^{-3} \cdot p + 1,093, \text{ при } R^2 = 0,9932$$

Графік цієї залежності представлений на рис. 3.

Вимірювання питомого електричного опору під тиском дало можливість оцінити питомий електричний опір

досліджених порід в пластових умовах (тиск 400 кгс/см²; температура 100 °С).

За матеріалами петроелектричних досліджень при високих тисках встановлена залежність між коефіцієнтом пористості ($k_{n,пл}$) та параметром пористості (P) в пластових умовах. Визначене рівняння Арчі має вигляд (рис. 4):

$$P = 8,5983 \cdot k_{n,пл}^{-0,9377}, \text{ при } R^2 = 0,7695.$$

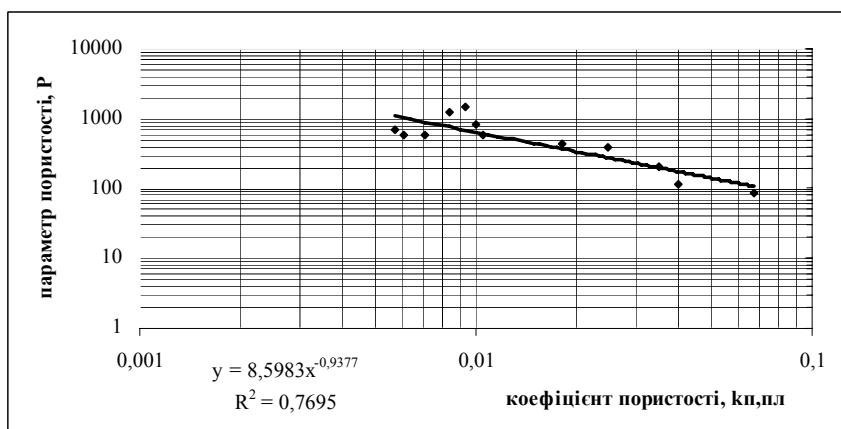


Рис. 4. Кореляційна залежність між коефіцієнтом пористості ($k_{n,пл}$) та параметром пористості (P) – рівняння Арчі (тиск 400 кгс/см²; температура 100 °С)

Висновки. За електрометричними даними досить чітко виділяються три групи вапняків, що зумовлюється змінами їх хімічного складу та пористості.

Залежність питомого опору порід від їх водонасичення має експоненціальний характер та високий коефіцієнт кореляції.

Вимірювання питомого електричного опору під тиском дало можливість оцінити питомий електричний опір досліджених порід в пластових умовах.

Питомий електричний опір порід-колекторів є важливою характеристикою стану гірських порід і слугує одним із критеріїв при виділенні перспективних інтервалів.

Лабораторні петроелектричні дослідження дали змогу оцінити колекторські властивості порід інтервалу 3010 – 3022 м. В результаті аналізу матеріалів лабораторних петроелектричних досліджень побудовано ряд кореля-

ційних залежностей: коефіцієнта пористості від параметра пористості (рівняння Арчі) при лабораторних та пластових умовах; коефіцієнта збільшення питомого електричного опору від тиску та коефіцієнта водонасиченості.

За значеннями параметра пористості та нафтогазонасичення досліджені породи відносяться до колекторів IV та V класів – пористість низька та дуже низька [2].

1. Вижва С.А., Рева М.В., Гожик А.П., Онищук В.І., Онищук І.І. Петроелектричні дослідження керну свердловини Чорноморського шельфу // Вісн. Київ. ун-ту. Сер.Геологія. – 2008. – № 44 – С. 4–8. 2. Дахнов В.Н. Геофизические методы определения коллекторских свойств и нефтегазонасыщения пород. – М., 1975. 3. Пархоменко Э.И. Электрические свойства горных пород. – М., 1965. 4. Петрофизика. Справочник. / Под ред. Н.Б. Дортман / ч.1. – М., 1992. 5. Петрофизика. Справочник. / Под ред. Н.Б. Дортман / ч.2. – М., 1992. 6. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых. Справочник геофизика. – М., 1984.

Надійшла до редколегії 23.11.09

УДК 550.8.013

О. Маковець, асп., О. Карпенко, д-р. геол. наук, проф.,
Г. Башкіров, канд. геол.-мінералог. наук

ОЦІНКА НАФТОГАЗОНАСИЩЕННЯ ПОРІД МАЙКОПУ РОДОВИЩА СУББОТИНА ЗА ДАНИМИ КОМПЛЕКСУ ГДС

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

Продуктивні відклади майкопу нафтогазового родовища Субботіна є типовими для величезної за простяганням і товщиною тонкошаруватої теригенної товщі українського сектору шельфу Чорного моря. За своєю структурою та геолого-геофізичними характеристиками породи-резервуари нафти і природного газу відносяться до так званих "колекторів складної будови". Необхідні нові підходи і методики, призначені для виявлення продуктивних інтервалів, усунення неоднозначності інтерпретаційних висновків і підвищення точності в отриманні ємнісно-фільтраційних параметрів складнобудованих порід-колекторів. Тут наведено приклад комплексного використання наявного геолого-геофізичного матеріалу із застосуванням лінійного дискримінантного аналізу.

The productive Maykopian deposits of Subbotina oil-and-gas field are the typical for infinite strike and thickness of fissile terrigenous strata of Ukrainian sector of Black Sea shelf. On the structure and geological-geophysical characteristics oil-and-gas reservoirs referred to so-called "complex structure reservoirs". It is necessary to use a new approaches and the methodology intended for eliciting of production ranges, interpretation results uncertainty elimination and accuracy enhancement in obtaining of complex reservoirs bulk properties. Here brought an example of complex realization of available geological-geophysical data with linear discriminant analysis using.

Аналіз світового досвіду свідчить, що перспективи наращування розвіданих запасів нафти і газу слід пов'язувати, з так званими, "нетрадиційними" колекторами із складними літолого-петрофізичними характеристиками. Одними з таких об'єктів, в межах південного нафтогазонасного регіону України, є складнобудовані "тонкошаруваті колектори" майкопського комплексу. В той же час, процес наращування темпів освоєння вуглеводневих ресурсів цих комплексів, значною мірою стримується відсутністю відповідних методик вивчення такого типу колекторів, виділення їх у розрізі та визначення їх промислових параметрів. У літологічному відношенні відклади майкопу представлені піщано-глинистою товщею, з істотним переважанням глинистих порід. Колектори в майкопському комплексі представлені теригенними алевроито-піщаними породами і відносяться до гранулярних колекторів порового типу. На Прикерченському шельфі, у продуктивному розрізі, кількість колекторів, які представлені пісковиками досягає 40-50 %. В стратиграфічному відношенні найбільша кількість пісковиків зустрічається у відкладах нижнього майкопу.

Для задач якісної інтерпретації – виділення пластів-колекторів, оцінки їх характеру насичення – необхідна значна за об'ємом статистична інформація, яка ґрунтується на результатах численних випробувань пластів та інтервалів розрізів свердловин. Безумовно, за відсутності такої інформації, для створення вирішальних правил поділу пластів розрізу на колектори і неколектори, на водонасичені, продуктивні і некондиційні породи за даними ГДС, можна використовувати апріорну інформацію, отриману в ході вивчення аналогічних відкладів на сусідніх площах або родовищах. Проте, під час вивчен-

ня складних типів розрізів, коли спостерігається значна мінливість літофаціальних і колекторських характеристик порід на території досліджень, ефективне використання "сусідньої" інформації досить проблематичне.

У процесі досліджень методами промислової геофізики складних, у геологічному відношенні, розрізів, виникають ситуації, коли існуючі стандартні методи інтерпретації не забезпечують отримання однозначних відповідей щодо характеру насичення гірських порід. Це пов'язано з тим, що стандартні або "класичні" способи інтерпретації даних ГДС орієнтовані на використання формалізованих, спрощених петрофізичних моделей. У таких моделях або алгоритмах інтерпретації в явному вигляді присутні 2-4 геофізичні або петрофізичні параметри. Виходячи з того, що будь-який геологічний об'єкт досліджень є дуже складною системою з позицій системного аналізу або математичної статистики, у будь-яких петрофізичних моделях повинні бути відображені зв'язки між значно більшою кількістю параметрів, ніж звичайно прийнято. У даному випадку присутній цілий спектр характеристик порід, які вкрай ускладнюють роботу геофізиків-інтерпретаторів: тонкошарувата будова (з прошарками колекторів від одиниць до перших десятків сантиметрів), підвищений вміст К-польових шпатів і уламкових порід ("поліміктівність"), значна ущільненість порід на глибинах понад 2000–3000 м, тріщинуватість порід. Окрім того, мінералізація пластових вод складає 20–30 г/л, температура перевищує 100 °С.

Наведені характеристики тонкошаруватого розрізу за умови використання типового комплексу геофізичних досліджень, обмеженого звичайним набором методів електричного каротажу – ПС, БКЗ, ІК, БК, БМК, МКЗ, ра-

© Маковець О., Карпенко О., Башкіров Г., 2010

діоактивними методами – ГК, НГК (або ДННК), інколи ГГК-Щ, плюс звичайний ультразвуковий АК, значно ускладнюють проведення якісної і кількісної геологічної інтерпретації. Використання технологій, спеціально орієнтованих під тонкошаруватий розріз [4, 5] також не завжди дозволяють використовувати їх переваги через часто обмежену кількість "методів пористості" (нейтронний каротаж і АК), поліміковість розрізу, малу мінералізацію пластових вод. Слабо відрізняються за електричними характеристиками водонасичені і нафтогазоносні об'єкти. Пористість порід-колекторів на глибинах більше 2000 м, як правило, не перевищує 16 – 20 %. Основна кількість зразків пісковиків і алевролітів за лабораторними даними має значно менший коефіцієнт пористості.

Нами виконана спроба комплексно використати наявний геолого-геофізичний матеріал, отриманий під час досліджень двох перших свердловин, пробурених на площі Субботіна. Численні інтервали випробувань в розрізах перших пошукових свердловин дозволили сформулювати 3 багатомірні вибірки значень геофізичних параметрів. Розподіл основних статистичних характеристик геофізичних параметрів методів типового комплексу каротажу для інтервалів розрізів свердловин, в яких здійснювались численні випробування пластів зображено на рис. 1 – 4. Пряме надійне (достовірне) розчленування геологічного розрізу свердловини на пласти з різним характером насичення за наведеними на рисунках характеристиками ускладнено внаслідок наявності значних площ перекриття розподілів даних геофізичних методів. За таких обставин ефективне використання методів "розпізнавання образів", чому є численні приклади їх застосування в площині промислової геофізики [1, 3]. Для цього нами була задіяна технологія реалізації лінійного дискримінантного аналізу [6]. Фізичний зміст лінійної дискримінантної функції полягає в тому, що вона представляє собою рівняння гіперплощини в багатовимірному

просторі ознак, і ця площина проведена таким чином, що по один бік від неї знаходиться максимальна кількість об'єктів однієї групи, а по інший бік – максимальна кількість об'єктів альтернативної групи. Дискримінантний аналіз дає змогу не тільки розв'язувати задачі класифікації, але й визначати інформативність окремих класифікаційних ознак, тобто допомагає підбирати раціональний комплекс геофізичних параметрів або методів досліджень. Реалізація дискримінантного аналізу можлива в середовищі багатьох комерційних програм, математичних пакетів, наприклад, Statistica 7.0.

Для суттєвого збільшення об'ємів вибірок нами було використано поточкові значення геофізичних параметрів з кроком 0,4 м по розрізам свердловин. Причому, в інтервалах перфорації, звідки було отримано значні припливи флюїдів, були задіяні для формування еталонних вибірок лише ділянки розрізу з підвищеною піскуватістю (виділені за допомогою від'ємних аномалій ПС, ГК). Для того, щоб можна було об'єднувати в одну вибірку покази геофізичного параметра Π_i , які залежать від параметрів свердловини та умов вимірювань, з різних свердловин, були використані процедури суттєвого зменшення впливу останніх на покази електричних методів каротажу:

$$\Pi_{i, \text{відн.}} = \frac{\Pi_i - \Pi_{\text{эл}}}{\Pi_{\text{эл}}},$$

де $\Pi_{i, \text{відн.}}$ – відносні покази геофізичного параметру після перетворення в точці i ; $\Pi_{\text{эл}}$ – покази геофізичного параметра напроти обраного пласта (пачки) глин.

Для показів радіоактивних методів була використана інша процедура:

$$\Pi_{i, \text{відн.}} = \frac{\Pi_i}{\Pi_{\text{эл}}}$$

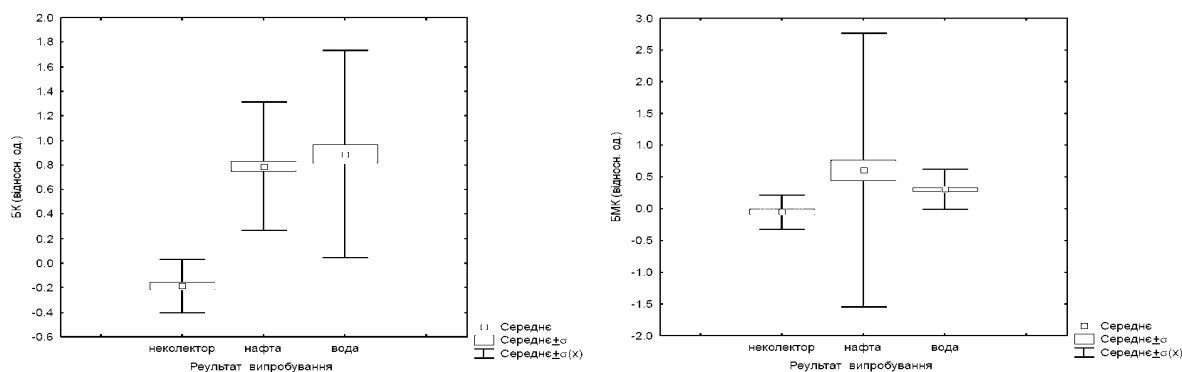


Рис. 1. Статистичні розподіли відносних показів зондів БК і БМК (бокс-плот) залежно від характеру насичення порід для нижньої частини майкопу. Родовище Субботіна

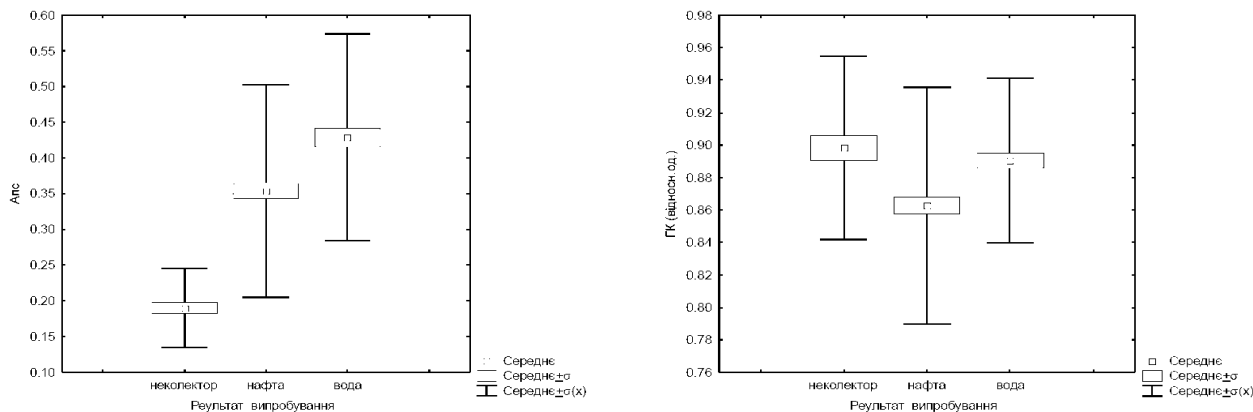


Рис. 2. Статистичні розподіли відносних показів методу ПС (aPS) і відносного параметра ГК (бокс-плот) залежно від характеру насичення порід для нижньої частини майкопу. Родовище Субботіна

Основне завдання лінійного дискримінантного аналізу в ході дослідження конкретних відкладів, – це підвищення інформативності геофізичних досліджень в процесі виявлення додаткових газонасичених пластів у розрізі, які не були розкриті перфорацією, а також – проведення оцінки ефективності даного способу в умовах обмеженої кількості геофізичної інформації, представленої тільки основними традиційними методами ГДС.

Умовою використання дискримінантного аналізу є відповідність розподілу ймовірностей вхідних величин нормальному теоретичному закону розподілу випадкових величин. Тому обов'язковим етапом підготовки даних є дослідження особливостей їх розподілів. Для перевірки на найкращу відповідність теоретичному закону розподілу доцільними в даній ситуації є непараметричний критерій Колмогорова-Смірнова λ і критерій χ^2 . Встанов-

лено, що лише розподіли α_{PC} , ΔT і I_{γ} підпорядковуються нормальному закону, а значення інших величин – логнормальному. Тому в подальших розрахунках використовувались безпосередньо величини α_{PC} , ΔT і I_{γ} , а для інших – натуральні логарифми їх значень.

Тестування ефективності розділення порід за характером насичення на власні еталонних масивах показало, що однозначно виділяються породи-неколектори (100 %). Виділення нафтонасичених колекторів і водонасичених в межах інтервалів випробувань при тестуванні дискримінантних функцій показало ефективність відповідно 82,4 і 84,4 %. Це досить високий показник за умови обмеженої кількості інформації, отриманої за результатами досліджень геофізичними методами.

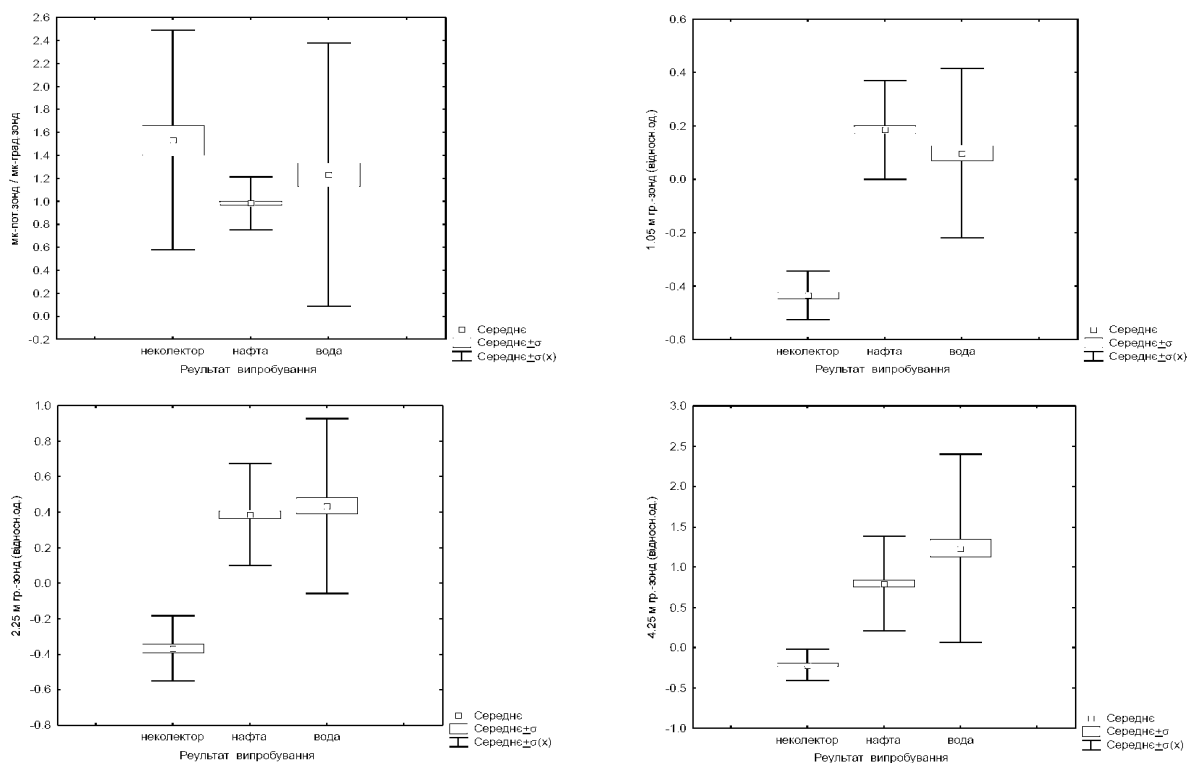


Рис. 3. Статистичні розподіли відносних показів мікрозондів, 1.05, 2.25 і 4.25 м градієнт-зондів (бокс-плот) залежно від характеру насичення порід для нижньої частини майкопу. Родовище Субботіна

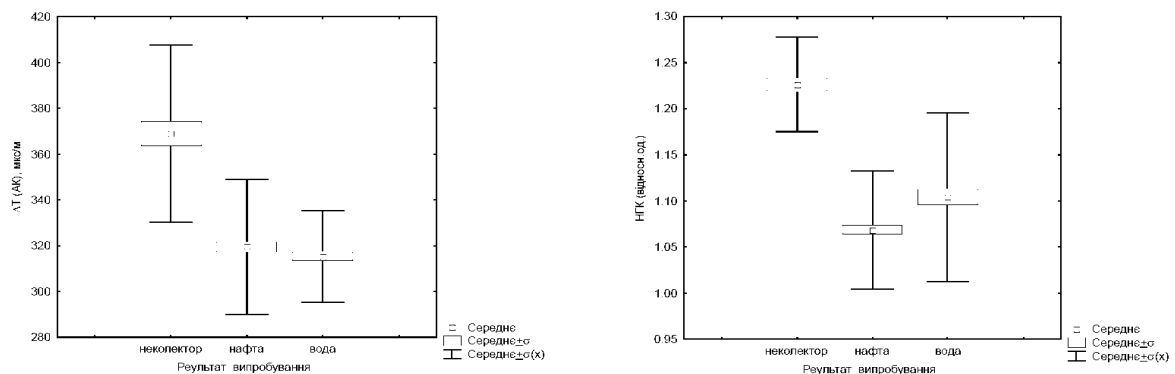


Рис. 4. Статистичні розподіли показів методу АК (ΔT) і відносного параметра $HГК$ (бокс-плот) залежно від характеру насичення порід для нижньої частини майкопу. Родовище Субботіна

На рис. 5 зображено результати оцінки характеру насичення порід у глинисто-піщаному розрізі майкопсь-

кого комплексу з використанням методу дискримінантного аналізу.

Права колонка є графічним зображенням імовірності розподілу гірських порід за характером насичення (нагадаємо, на початковому етапі підготовки даних було проведено осереднення геофізичних параметрів з кроком 0,4 м глибини). Як бачимо в інтервалах глибин, розкритих перфорацією, характеристика порід розрізу за даними дискримінантного аналізу відповідає результатам випробувань. Розподіл імовірності віднесення порід до відповідних груп за характером насичення виконаний формально, тому в деяких інтервалах з'явилися досить високі значення. Імовірність наявності газонасичених порід на рівні 0,98 – 0,99 свідчить про те, що ознаки таких порід досить близькі до статистичних характеристик центру відповідної еталонної групи. Слід підкреслити, що розраховані і представлені на рис.4 є власно імовірнісними характеристиками подібності до центів певних класів багатомірних розподілів за обраним комплексом геофізичних ознак. Ці імовірнісні ха-

рактеристики певною мірою є відображенням характеру насичення порід, але їх не можна порівнювати або отождествлювати з коефіцієнтом нафтогазонасичення. У певних інтервалах за переважаючими ймовірностями однієї групи з'являються ознаки іншої. Це можна розглядати як прояв декількох чинників, у тому числі обмеженої вхідної геофізичної інформації, спрощеної лінійної моделі дискримінантної функції, дуже складної структури реальної фізико-геологічної моделі розрізу і т.д. У такому випадку слід враховувати лише основну складову імовірності характеру насичення порід.

У межах інтервалів перфорації навіть за однозначних результатів випробувань знаходяться різні групи порід з різними колекторськими властивостями. Тому вибірки в еталонних групах не можна вважати однорідними. Це призводить до певного зменшення ефективності класифікації під час дискримінантного аналізу.

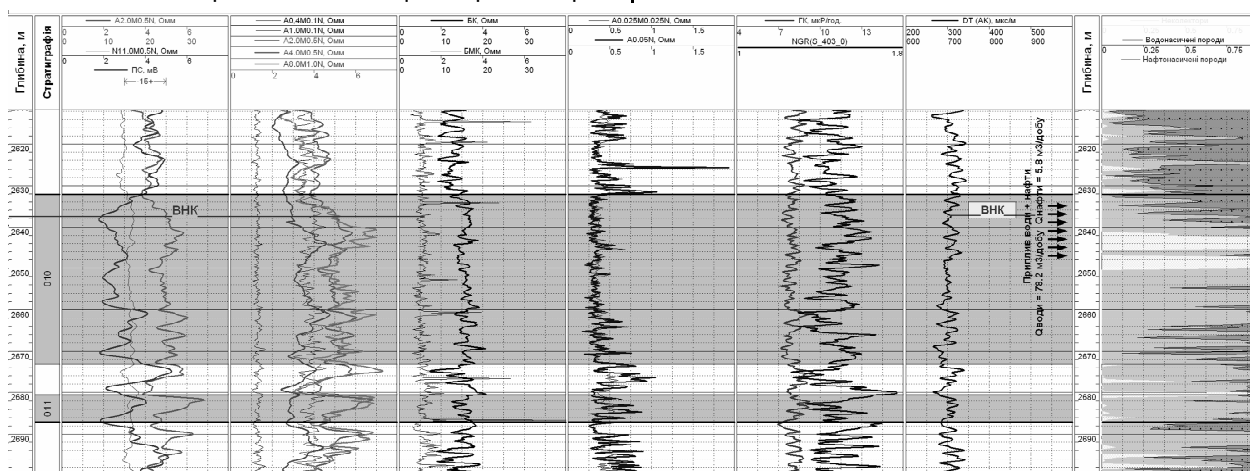


Рис. 5. Фрагмент розрізу свердловини родовища Субботіна

Висновок. Можна вважати, що за невеликої кількості методів промислово-геофізичних досліджень, у разі відсутності необхідної інформації для проведення якісної інтерпретації даних ГДС, використання альтернативного способу дискримінантного аналізу, як методу виявлення продуктивних порід-колекторів, є доцільним. Метод може бути ефективно застосовано на відкритих родовищах вуглеводнів у процесі пошуків раніше невиявлених продуктивних пластів у складних типах розрізів, наприклад, відкладах майкопу. Для його використання потрібна наявність двох обов'язкових умов: каротажних даних, записаних у цифровій формі, та достатня кількість інтервалів випробувань з отриманими припливами різних флюїдів (нафта або газ і пластова вода) та з відсутністю дебітів останніх для створення еталонних груп.

1. Журавлев В.П. Определение удельного электрического сопротивления анизотропных пластов // Прикладная геофизика. – М., 1968. – Вып. 51. – С. 170-187.
2. Карпенко О.М., Булмасов О.В. Застосування нейронмережових технологій при інтерпретації даних геофізичних досліджень свердловин // Геоінформатика. – 2005. – №1. – С. 71 – 79.
3. Карпенко О.М., Федоришин Д.Д. Оцінка продуктивності розрізу свердловин при обмеженому комплексі промислово-геофізичних досліджень // Наук. Вісник ІФНТУНГ. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ. – 2002 № 1(2). – С. 16-20.
4. Карпенко О.М., Федоришин Д.Д. Статистична модель тонкошарового розрізу свердловини за даними ГДС // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ. – 2003. – № 2(7). – С. 44-49.
5. Логовская Г.К., Саркисова Е.А. Выделение нефтегазоносных объектов в разрезах с песчано-глинистыми слоистыми коллекторами. // Обзор ВИЭМС. Сер. Регион. развед. и промысл. геофизика. – М., 1982.
6. Федосеев Г.С., Бабич В.В., Зауков В.В. и др. Распознавание образов в задачах качественного прогноза рудных месторождений. – Новосибирск, – 1980.

Надійшла до редколегії 27.11.09

UDC 550.8.056

H. Guliyev, Dr., physical-mathematical sciences,
H. Aghayev, Ph.D., geologic-mineralogical sciences, N. Shirinov, engineer

THE RESEARCH OF THE INFLUENCE OF THE PRESSURE TO THE VALUES OF ELASTIC PARAMETERS OF GEOLOGICAL MEDIUM ON THE BASIS OF SEISMIC AND WELL DATA

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

The questions on definition of fundamental elastic parameters on the basis of non-classic base model including the development of the software for preparation of 2D thin layered models of real environment and also the calculation of the sections of elastic parameters of the environment are considered.

Розглянуто питання по визначенню фундаментальних пружних параметрів на основі неklasичної базової моделі, що включає розробку програмного забезпечення для підготовки двохвимірних тонкошарових моделей реального середовища, а також розрахунки розрізів пружних параметрів середовища.

Introduction. The modern state of techniques, technologies of the field and well geophysical investigations

allow to record data regarding the medium with high accuracy. More productive computers and effective

softwares provide the operative and enhanced processing and interpretation of the derived information. All these allow solving more complex and earlier inaccessible tasks on the geological medium study. One of these tasks is the study the changes of physical-mechanical properties of the medium occurring in process of oil and gas fields operation. With this purpose approximately every 5-7 years the monitoring of fields is performed with application of 4D seismic method of investigations. Studying the changes of amplitudes, velocities of propagation of compressional, shear waves in medium layers according to results of seismic inversions, the change of medium properties occurring in monitoring period is defined at every measure. In offshore fields the monitoring is also performed in the section upper part with purpose to identify the safety evaluation of the drilling platform position.

At the seismic inversion with set models, performed with utilization of seismic survey and geophysical well logging (GWL) data, there define 2D or 3D thin-layer models of medium on the velocities of compressional (V_p), shear (V_s) waves and rocks density (ρ). Using the above-mentioned, there calculate different parameters of medium, including elasticity coefficients [15]. Interpreting these data, within the studied area they forecast the physical-mechanical, lithological, properties, oil-and-gas saturation of rocks, abnormally high formation pressures (AHFP) and other properties of medium.

It is known that physical-mechanical properties of rocks vary at medium pressure and temperature change. Usually in practice in seismic survey the different empirical dependences of velocities upon the pressure $V = f(P)$ and temperature $V = f(T)$ are applied to take into account the pressure influence upon the seismic waves' propagation velocity, and upon the medium elastic parameters accordingly. These empirical dependences are determined by results of summarization of GWL data on various studied areas as well as on data of cores laboratory tests. But these dependences, under the complex media, don't often provide the necessary precision of velocities definition on the specific object of study. Even within one area, when the dependence is determined on one well, the application of $V = f(P)$ in areas, remote from well, can bring to significant errors in velocities due to change of geological structure and geodynamic state of the medium. But the data on laboratory tests are corresponded to real geophysical data in different ways, because the technique of measurement and rocks samples are not quite identical to thermodynamic conditions in real medium. All these bring to great error of forecast by values of elasticity parameters of the medium lithological characteristics and its oil-and-gas saturation, especially for complex media and zones with AHFP.

When investigating the complex media, on the assumption of insignificant change of lithological composition of the layers rocks in lateral, the values V_p , V_s and their ratios can differ greatly in various areas of field due to difference in geodynamic conditions. Thus the values of elasticity coefficients, calculated using the dynamic method, including the Poisson coefficient, will be different in area on one and the same layers. The similar will be also observed in case when lithologically very similar layers are in different geodynamic conditions in geological section. Thus, it is necessary to take into account the pressure effect for correct definition of the rocks lithological composition by elastic parameters' values before their calculation. For this purpose, the values of elastic parameters of medium, determined by results of seismic inversion or by GWL data should be normalized

proceeding from conditions as the pressure has a constant value along the whole geologic section. Only in this case the difference of elastic parameters will be specified with difference of layers lithology. This allows to interpret unambiguously the results of inversion on definition the medium properties. Proceeding from non-classic linearized theory in [11] there had been developed an approach to define the Poisson coefficient for stressed non-linear media.

Theoretical preconditions for the elastic parameters determination. It is known that stressed state of the geological medium is determined by weight of overlying rocks, influence of tectonic processes, formation pressure, mechanical and structural properties of the sedimentary rocks and other factors. In complex media the ratio of ground pressure in vertical and horizontal directions can reach different values depending on geological structure, geodynamic conditions of the studied region of works. At definite thermobaric conditions the sedimentary rocks are characterized by higher porosity and poor compactness that the root rocks. In this connection, even the insignificant change of the medium geodynamic state can influence noticeably upon the physical-mechanical properties of these rocks.

It is known that we deal with deformed medium when performing GWL and seismic survey. It is mean that due to objective natural circumstances the studied media are prestressed before excitation of seismic waves in them. Study of dynamic, kinematic and polarization parameters of the compressional, shear and converted waves shows that the medium intensity and deformation nonlinearity play a significant role when forming the seismic wave field.

There are numerous investigations to define the elastic parameters; they are partially reflected in [1, 2, 4 – 7, 9, 13 – 18]. Basically the theoretical results had been derived on the base of linear theories of elasticity and propagation of elastic waves in undeformed elastic media.

Theory of wave dynamics accounting the medium preliminary intensity within the mechanics of continuous medium had been created in [9]. The same paper includes an extensive list of scientific publications of various experts in the present field. In papers [2, 11, 10, 13, 17], proceeding from theoretical results [9] there had been developed the practical approaches to study the different geologic-geodynamic tasks. In [8, 10 – 12] these approaches when research the issues related with seismic survey, are classified as non-classic theoretical base model.

Results of theoretical investigations, non-classic theoretical base model show that when defining the fundamental parameters of the stressed media elasticity it is possible to take into account the changes of its stressed state. In other words, to define the values of the physical-mechanical properties of rocks composing the geological section. The design formulae had been proposed to determine the basic physical-mechanical parameters of the geological medium – Poisson coefficient (ν) and Young modulus of elasticity (E):

$$\nu = \frac{V_{p2p}^2 - 2V_{sxp}^2 - F(\rho, V_{pz0}, V_{sx0}, P)}{2[V_{p2p}^2 - V_{sxp}^2 - F_1(\rho, V_{pz0}, V_{sx0}, P)]};$$

$$E = 2(1 + \nu)[\rho V_{sxp}^2 - F_S^R(\rho, V_{pz0}, V_{sx0}, P)],$$

where: V_{p2p}, V_{sxp} – current values of the compressional and shear waves' velocities; V_{pz0}, V_{sx0} – values of these parameters in stress-free state; ρ – rocks densities; P – pressure; F, F_1 and F_S^R – known algebraic expressions characterizing the nonlinear actions of

medium, the look of which is concretized with setting of look of the elastic potentials.

For different stressed states of medium (before excitation of seismic waves in it) and the variants of modeling of elastic oscillations shapes, the formulae of F , F_1 and F_S^R calculation differ [8]. In the classic approach $F \equiv F_1 = F_S^R = 0$. In the present work the calculations were performed by theories of the greater and second variant of small initial deformations [16] using the true velocities. Results show that at known values F , F_1 and F_S^R one can calculate accurately the values of Poisson coefficient and Young modulus for the set parameter of pressure [11]. Application of these formulae allows to describe analytically the dependence of values of elastic parameters upon the pressure for one and the same rocks. In its turn it allows to calculate the true values of the medium elastic parameters for fixed values of pressure. Thus, there is a possibility to recalculate the elastic parameters of the studied medium for conditions in which the stressed state is constant in lateral and vertical.

Software. In the present work, proceeding from the above-mentioned theoretical developments, the algorithm of seismic information processing had been created within the non-classic linearized base model. This algorithm allows calculating the true values of the fundamental parameters of the medium elasticity on the base of real seismic and well data.

The programs had been developed on the created algorithms and different calculations had been performed on the base of geophysical program package (CWP) of Denver University (Colorado School of mines). It operates in Linux and can be used at the personal computers and the work stations as well. The package has good technological capabilities to compile the graph of seismic data processing, extensive set of standard procedures as well as accessible software tools to supplement the package with new programs.

Using the program package CWP we had compile the software (GEOPRESS) to model the physical parameters of the medium. The following possibilities to set and use the data on the medium models are provided in GEOPRESS:

- models of the medium physical parameters are set with regular or irregular step on vertical and lateral;
- the models' discreteness, on which the medium parameters are determined, is equal to sample interval of the seismic records in vertical, and in lateral – to the observation step at seismic works;
- models of the medium physical parameters or any other data can be in depth or in time measurements, and there is a possibility for their recalculation from one unit to another;
- possibility to generate or correct the models on various analytical and graphic dependences;
- possibility of easy exchange of data and results of other geophysical softwares.

The software operates the data of seismic survey, GWL and results of laboratory measures on rocks' samples. These data are used in preparation of 2D models of medium as the time or depth sections, on which different procedures of modeling are performed. Some standard procedures, realized by new programs, differ from standard ones that they allow creating and operating with data on medium parameters with minimal discreteness, equal to sample interval of the seismic data. The developed programs also allow performing different transformations with data on the media models. The basic part of the

programs provides the extrapolation of model of he medium physical parameters, determined by GWL data, in borehole environment taking into account the medium geological structure, to correct the model due to geodynamic and thermodynamic state of medium, to calculate the different elastic parameters of medium within the classic and non-classic theory of deformations, recalculate the elastic parameters for various stressed states of medium, to calculate the attributes of seismic records as well as the synthetic records. The application of CWP package together with GEOPRESS allows the processing of real 2D seismic data, to determine the models of physical-mechanical properties of medium, to perform the modeling of seismic records.

Processing flow had been prepared, where the following programs are indicated: "suwind" program to download 2D models of medium on different physical-mechanical parameters, "suweight" program to multiply the model by the set coefficient, "time_depth_time" program to recalculate the section from time into depth scale, "elastic_stress" the basic program to calculate the elastic parameters by non-classic theory, "compare_model" program of the quantitative comparison of models' sections and "suximage" program to visualize the models' sections and the elastic parameters.

Geologic structure of the studied medium. To evaluate the effectiveness of GEOPRESS application there had been used the geophysical data on one of the structures of the South Caspian Depression (SCD). It is known that SCD has a complex geological structure and is rich with oil and gas fields. There are numerous extinct and acting mud volcanoes. The structural buildings mainly have the diapiric form that is characterized by steep angles of dip, numerous amplitude dislocations [3]. Difference of depths of the arch and synclinal parts of folds can reach to 2 km approximately. Here the terrigenous section is basically consists of alternation of the thin-layer strata of clays, siltstones, sands and rare sandstone. Here the abnormally high formation pressure is a usual phenomenon. Pressure on individual layers is some tens percentages higher than in the surrounding ones. At depths 5-6 km the pressure and temperature reach approximately to 0.09-0.12 GPa (900-1200 atm.) and 100⁰-130⁰C accordingly. Effectiveness of study of the geological structure and physical-mechanical properties of such a complex medium using the geophysical methods along with other factors, also depends significantly upon the accounting of influence of the medium geodynamic state.

Modeling to define the elastic parameters of the medium. The acoustic and geodynamic models of the studied medium in the South Caspian depression had been prepared by data of geophysical investigations. Using the data of acoustic logging on the compressional and shear waves and density logging data on deep wells, located in the arch part of the structure, the thin-layer 1D models of media had been created on the velocities of the compressional and shear waves, rocks densities and hydrostatic pressure (Fig.1). Then 2D models were calculated by extrapolation of 1D models along the seismic horizons for the rest common depth points (CDP) of 2D profile, running near the deep well which locates approximately on point CDP=701 of the profile. Taking into account the configuration of seismic horizons and distribution of rocks density in depths and profiles, there had been also calculated the 2D model of geostatic pressure. 2D model of hydrostatic pressure was corrected taking into account the change of geostatic pressure in depth and along the seismic profile. 2D models were calculated as time and depth sections, like the usual

sections of the seismic profiles. On models shown in figure 2 it is seen that in sections of formation velocities of the compressional and shear waves the values of V_p and V_s increase for one and the same layers as far as they get deeper, that is caused by pressure increase with depth. Model of hydrostatic pressure had been prepared (Fig. 3a). Section of pressure difference along the strata between the points, where the deep well locates, and the current points of profile is in figure 3b. It is seen that the difference in pressure along the layers of the same name increases as far as moving off the well.

The depth sections of Poisson coefficient had been calculated by 2D models using classic (Fig. 4a) and non-classic theories: – by the first theory of small initial deformations (Fig. 4b). In addition it was supposed that the stress in medium is distributed evenly in the vertical and horizontal directions. When comparing the results it is seen that unlike the figure 4a, on figure 4b the values of elastic parameter on one and the same layer doesn't change along the profile. It means that the pressure difference between the well and current point of profile had been taken into account correctly. Thus, in the given example

the elastic parameters are recalculated for conditions when in each layer the well-pressure is constant along the whole profile. The comparison of ν values had showed that by non-classic formula its value turns out lesser than by the classic one. Difference of two sections of Poisson coefficient is in figure 5a. From this it follows that on one and the same layers the difference reaches its maximal value between the arch and synclinal parts of the structure, where the difference of hydrostatic pressure also reaches the maximal value (Fig. 3b). In individual layers the difference reaches to 8 %. The section of Poisson coefficient difference, calculated by the second variant of theory of small initial deformations, is given in figure 5b. Here the difference is greater than by the theory of great initial deformations. By the second variant of small initial deformations the maximal value of difference reaches to 12 %, but the number of layers with great values of difference are more than by the theory of great initial deformations. The depth section of Young module had been also calculated by these models. Here, its values by classic theory 2-4 % lesser than by non-classic one.

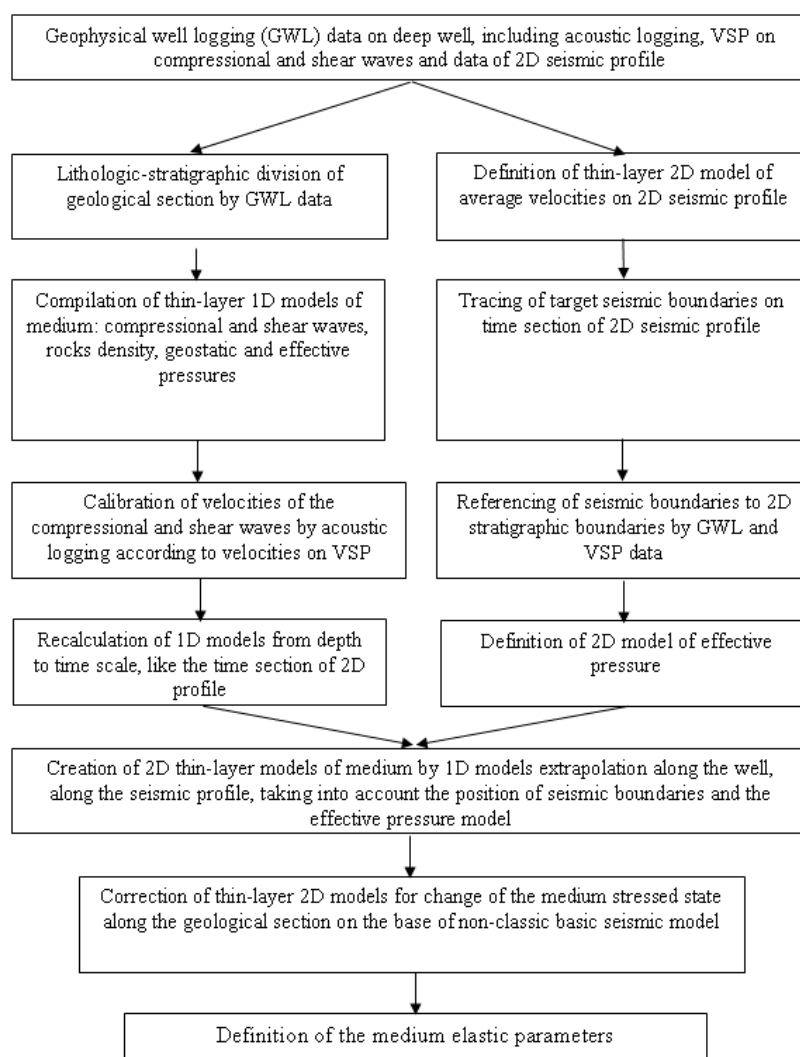


Fig. 1. Block diagram of 2D model of medium by fundamental parameters of elasticity

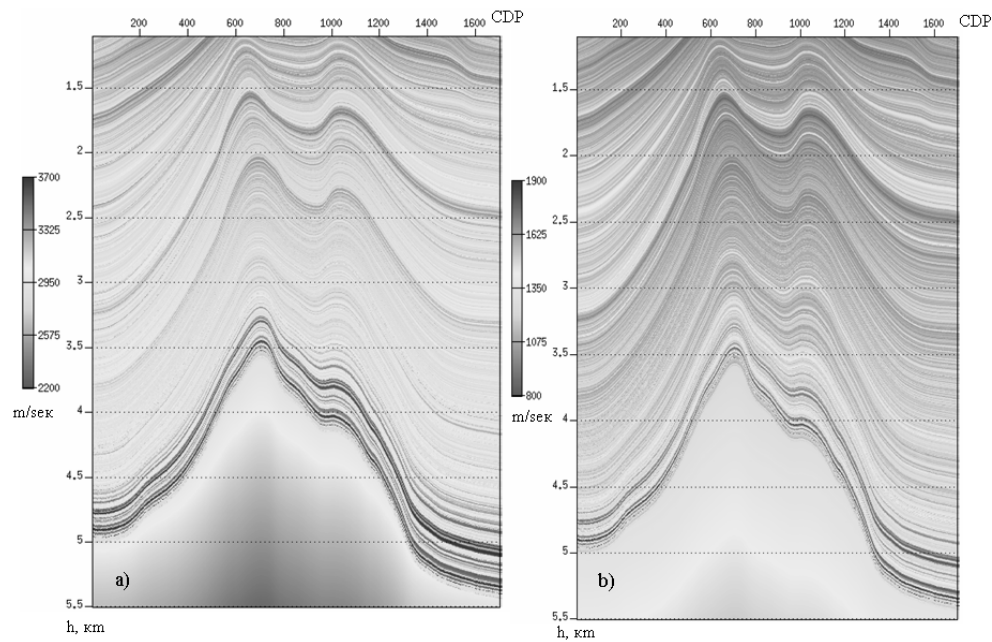


Fig. 2. Depth sections by formation velocities of the compressional (a) and shear (b) waves

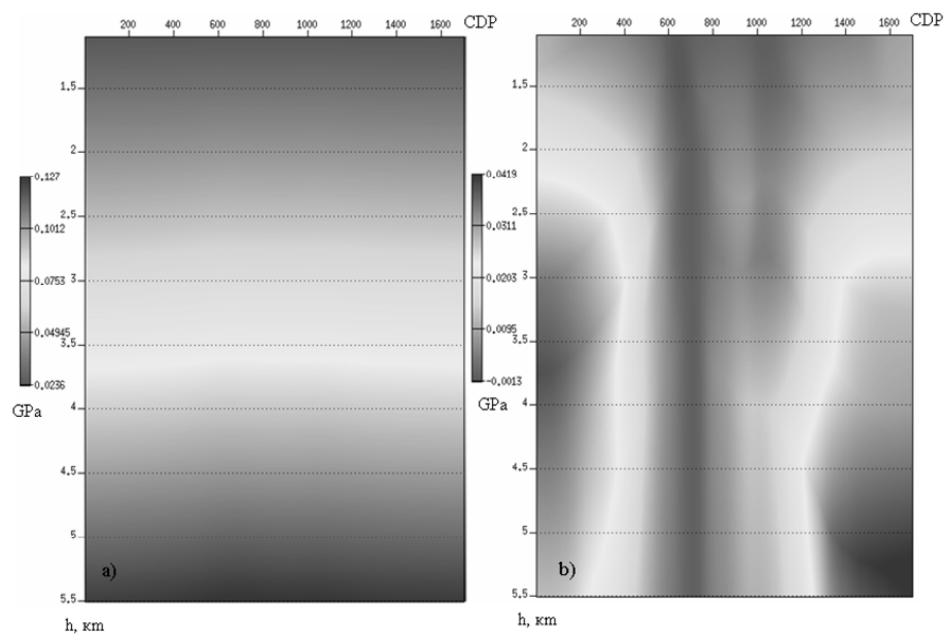


Fig. 3. Depth sections of the hydrostatic pressure (a) and difference of pressure along the layers between points where the well is, and the profile current point (b)

Results, derived with application of theory of great initial deformations, theoretically are the most accurate, so they should be accepted as basic ones. It is seen that results of improvement by this theory are nearly 2 times differ from

the results of theory of small initial deformation, though the last theory also reflects correctly (qualitatively) the nature of pressure effect upon the numerical values of fundamental elastic parameters of the medium.

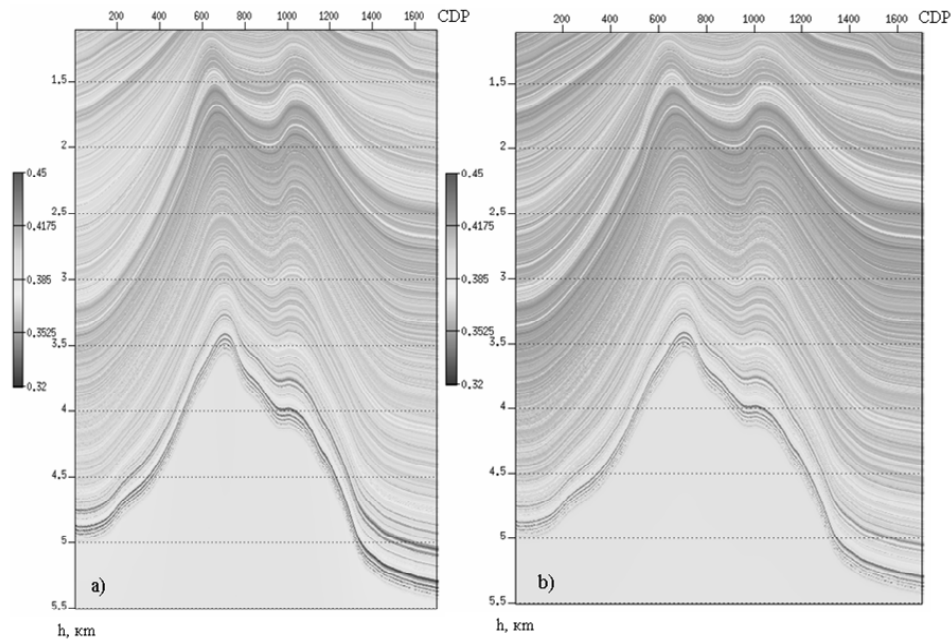


Fig. 4. Depth section of Poisson coefficient calculated by classic (a) and non-classic theories (b)

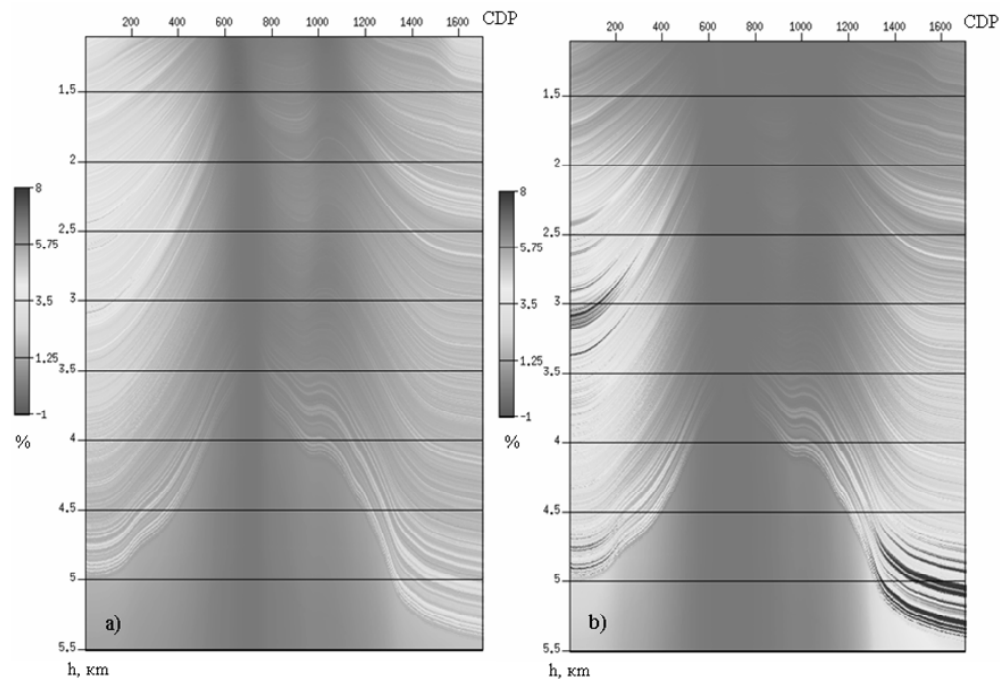


Fig. 5. Difference of sections of the Poisson coefficient calculated by classic and non-classic theories: by theory of great initial deformations (a) and the second variant of theory of small initial deformations (b)

As an example there had been derived results on calculation of elastic parameters for thick layer mainly consisting of siltstone rocks. The data are as follows:

$$P = 0.0 \text{ GPa}, \quad V_{pz0} = 2.529 \text{ km/s}, \quad V_{sx0} = 0.909 \text{ km/s}, \quad V_{sy0} = 0.982 \text{ km/s}, \quad \rho = 2.34 \text{ g/cm}^3,$$

$$P = 0.05 \text{ GPa}, \quad V_{pzp} = 2.847 \text{ km/s}, \quad V_{sxp} = 1.099 \text{ km/s}, \quad V_{syp} = 1.187 \text{ km/s}, \quad \rho = 2.34 \text{ g/cm}^3,$$

Outputs are as follows:

$$\nu_{кл} = 0.41245, \quad \nu_{некл} = 0.42582, \quad E_{кл} = 7.3 \text{ GPa}, \quad E_{некл} = 4.8 \text{ GPa},$$

$$a = 253 \text{ GPa}, \quad b = -4065 \text{ GPa}, \quad c = 11432 \text{ GPa},$$

where: $\nu_{кл}$, $\nu_{некл}$, $E_{кл}$ and $E_{некл}$ – Poisson coefficient and Young modulus calculated by classic and non-classic methods; a , b and c – modulus of elasticity of the 3rd order.

Discussion. The derived results on application of new theoretical developments on continuous media mechanics and the appropriate software open quite new possibilities when seismic investigations, in particular:

- definition of true (free of pressure influence) values of the medium elastic parameters;
- compilation of more reliable pattern of change of the physical-mechanical properties of rocks on geological

section, where the influence of pressure differences is excluded;

- forecast of the medium stressed state on values of elastic parameters calculated according to geophysical data.

Conclusions. Thus, new theoretical investigations and software had allowed to create new possibilities to interpret the seismic information taking into account the geodynamic conditions of medium, and to get new results on synthetic 2D models of medium. For further assessment of effectiveness of the software the acoustic model of medium is preparing according to results of inversion of the real seismic records.

The work had been performed within the Science and Technology Center in Ukraine grant # 3647.

1. Akee K., Richards P. Quantitative seismology / Ed. by K. Akee. – M., 1983.
2. Aleksandrov K.S., Prodayvoda G.T., Maslov B.P. Method of definition of the non-linear elastic properties of the rocks // Reports of the Russian Academy of Sciences. – 2001. – Vol. 380, №1. – P. 109–112.
3. Babayev D.H., Hajiyev A.N. Deep structure and prospects of oil-and-gas content of the Caspian Sea basin / Ed. by D.H. Babayev. B., 2006.
4. Cambois G. AVO inversion and elastic impedance // SEG Expanded Abstracts. – 2000. – Vol. 19.
5. Castagna J.P., Backus M.M. Offset-dependent reflectivity: theory and practice of AVO analysis / Investigations in Geophysics Series, Soc. Expl. Geophys. – T., 1995. – Vol. 8.
6. Gogonenkov G.N. Study of the detail structure of sedimentary series

- using the seismic survey / Ed. by G.N. Gogonenkov. – M., 1987.
7. Goodway B., Chen T., Downton J. Rock parameterization and AVO fluid detection using Lamé petrophysical factors – λ , μ and λ/μ , μ/λ . / EAGE Expanded Abstracts. – 1999.
8. Guliyev H.H. Non-linear actions of elastic medium and their influence upon the velocity of distribution of the elastic waves // Proceedings of ANAS. Earth Sciences. – 2009. – №2. – P. 31–39.
9. Guz' A.N. Elastic waves in bodies with initial stresses. General issues, I. Regularities of distribution, II / Ed. by A.N. Guz. – L., 1986.
10. Kuliev G.G. Definition of Poisson coefficient in the stressed media // Reports of the Russian Academy of Sciences, Geophysics. – 2000. – Vol. 370, №4. – P. 534–537.
11. Kuliev G.G. Non-classic linearized theory of deformations in geophysics // Proceedings of ANAS. Earth Sciences. – 2005. – №2. – P. 41–51.
12. Kuliev G.G., Shirinov N.M. On definition of the second order of modulus of elasticity of the stressed non-linear isotropic media // Proceedings of ANAS. Earth Sciences. – 2005. – №3. – P. 10–16.
13. Maslov B.P., Prodayvoda G.T., Vizhva S.A. Mathematical modeling of influence of pressure and temperature upon the velocity of distribution of the elastic waves in cracked rocks // Geophysical journal. – 2000. – Vol. 22, №3. – P. 113–118.
14. Puzirev N.N., Trigubov A.V., Brodov L.Yu. et al. Seismic survey by method of transverse and converted waves / Ed. by N.N. Puzirev. – M., 1985.
15. Veeken P.C.H., Silva M. Seismic inversion methods and some of their constraints // First Break. – 2004. – Vol. 22, №6. – P. 47–70.
16. Verm R., Liang L., Hiltermann F. Significance of geopressure in predicting lithology // The Leading Edge. – 1998. – Vol. 17, №2. – P. 227–234.
17. Vizhva S.A. Геофізичний моніторинг небезпечних геологічних процесів / Ed. by S.A. Vizhva. – K., 2004.
18. Whitcombe D.N., Connolly P.A., Reagan R.L., Redshaw T.C. Extended elastic impedance for fluid and lithology prediction // SEG Expanded Abstracts. – 2000.

Надійшла до редколегії 25.11.09

УДК 550.34

О. Кендзера, канд. фіз.-мат. наук, О. Скляр, н. с., Ю. Лісовий, м.н.с.,
Є. Корнієнко, інж. I кат. Ю. Семенова, геофізик I кат.

ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ СЕЙСМІЧНОЇ НЕБЕЗПЕКИ БУДІВЕЛЬНОГО МАЙДАНЧИКА НСК "ОЛІМПІЙСЬКИЙ" В М. КИЄВІ

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

Інститутом геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України проведені вишукувальні роботи з встановлення рівня сейсмічної небезпеки (уточненого значення сейсмічної бальності, з урахуванням впливу ґрунтових умов) майданчика НСК "Олімпійський" у м. Києві. На території майданчика виділено три відносно однорідні (в сейсмічному відношенні) таксонометричні одиниці. Для кожної з них було встановлено рівень сейсмічної небезпеки в балах шкали сейсмічної інтенсивності MSK-64.

The research work by establishment of seismic hazard level (the improved value of seismic intensity taking into account the influencing of soil conditions) for National Sports Complex "Olimpiyskiy" site in Kyiv is conducted by S.I. Subbotin Institute of geophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine. Three relatively homogeneous (in the seismic relation) taxonomic units on the territory of site are selected. The level of seismic safety in the balls of MSK-64 seismic intensity scale was set for each of this taxonomic units.

Інститутом геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України проводилися роботи з встановлення рівня сейсмічної небезпеки (уточненого значення сейсмічної бальності, з урахуванням впливу ґрунтових умов) будівельного майданчика НСК "Олімпійський" в м. Києві.

Мета робіт – кількісна оцінка розрахункової інтенсивності сейсмічних струшувань в балах шкали MSK-64 на основі комплексного аналізу уточнених даних загального сейсмічного районування (ЗСР) і робіт з сейсмічного мікрорайонування (СМР) будівельного майданчика методами: інженерно-геологічних аналогій, сейсмічних жорсткостей і реєстрації мікросейсм.

Майданчик НСК "Олімпійський" розташований на території Печерського району м. Києва, біля підніжжя Черепанової гори, в місці зчленування Хрещатого яру з долиною річки Либідь. З результатів аналізу фондових і опублікованих матеріалів [1, 2] відомо, що на території м. Києва неодноразово спостерігалися сейсмічні струшування від потужних підкорових землетрусів зони Вранча (Румунія) і можуть проявитися локальні сейсмічні ефекти від потенційно можливих землетрусів з місцевих сейсмо-

активних зон [3 – 9], які пов'язані з сейсмоактивними розломами Східноєвропейської платформи (СЄП). Вогнища потужних підкорових землетрусів зони Вранча розташовані на відстані 600 км від Києва [10 – 12].

При руйнівних землетрусах в зоні Вранча, магнітуда (M) яких знаходилася в межах значень 6,8–7,4, інтенсивність сейсмічних струшувань в балах шкали MSK-64 в м. Києві складала 5–6 балів (26.10.1802, $M=7,4$), 5 балів (17.11.1821, $M=6,7$; 6.11.1908, $M=6,8$; 10.11.1940, $M=7,3$) та 4–5 балів (22.01.1838, $M=6,9$; 22.10.1940, $M=6,2$) [13–15]. Під час землетрусів, які спостерігалися в Києві наприкінці 20 століття інтенсивність струшувань дорівнювала 4–5 балам (4.03.1977, $M=7,2$) та 4 балам (30.08.1986, $M=6,8$) [11, 15, 16].

Лише за останні 200 років зафіксована на території м. Києва інтенсивність землетрусів зони Вранча досягала 5 балів у 1802 році і 5 балів у 1940 році [12, 13, 17]. На рис. 1 представлені ізосейсти цих землетрусів. Слід зазначити, що енергія всіх зазначених вище землетрусів була значно меншою від максимально можливої для зони Вранча (з імовірністю 1 раз в 5000 років) [18 – 20].

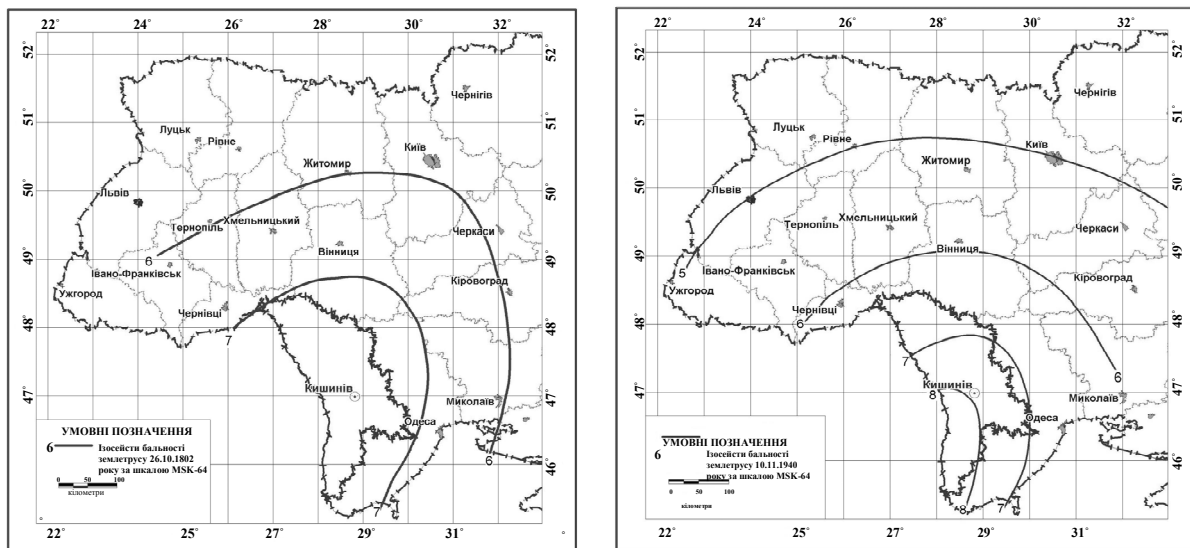


Рис. 1. Карта-схема ізосейст землетрусів зони Вранча 1802 р. (а) [21] і 1940 р. (б) [22]

В результаті проведення макросейсмічних обстежень наслідків останніх із сильних підкорових землетрусів із зони Вранча, які відбулися у 1990 р. 30 травня (в денний час, $M = 6,8$) і 31 травня (вночі, $M = 6,3$), було показано [17], що на території міста макросейсмічні ефекти розподілилися нерівномірно. Будинки в центрі міста на схилах пагорбів та в новобудовах на околицях біля заток р. Дніпро зазнали інтенсивніших коливань. Зроблено висновки, що на таких ділянках інтенсивність перевищила 4 бали. Крім того, на величину спостереженої інтенсивності сейсмічних струшувань вплинув стан цегляних будинків в центральній частині Києва, декілька з них були побудовані ще в кінці 19-го, а деякі – на початку 20-го століття. В 25 % надісланих населенням анкет відмічалось, що після землетрусу в помешканнях з'явилися легкі пошкодження – головним чином "тонкі тріщини в штукатурці", а менш ніж в 10 % випадків спостерігалось "відпадання шматочків штукатурки". В той же час, з південно-західної частини міста надійшло лише декілька повідомлень про незначні прояви землетрусу, з яких випливає, що там сила поштовхів не перевищувала 4 балів.

Документально підтверджених даних про вогнища місцевих землетрусів поблизу Києва нема, але, базуючись на існуючих сейсмологічних, геолого-геофізичних, тектонічних, геодинамічних даних та даних розшифровки космознімків, можна стверджувати, що на сучасному етапі геологічного розвитку регіону існує реальна сейсмічна загроза, пов'язана з місцевими (локальними) активізованими тектонічними порушеннями у фундаменті Східноєвропейської платформи [1, 3 – 9, 39].

До 70-х років минулого століття сейсмічна небезпека, взагалі, пов'язувалася лише з територіями, приуроченими до серединно-океанічних хребтів, окраїн континентальних плит, гірських масивів і островних дуг. Сучасні сейсмологічні дані свідчать про те, що древні платформи, які раніше вважалися асейсмічними, також зазнають тектонічних деформацій, хоча і значно повільніших, ніж їх окраїни. За даними [3], в XX сторіччі катастрофічні землетруси (далі наведені лише найбільші події) відбулися на наступних платформах: Північно-Американській (Канадський щит) $M=6,8$, 16.11.1920 р.; Північно-Африканській, $M=7,0$, 19.04.1935 р.; Індостанській, $M=6,5$, 10.12.1967 р.; Австралійській, $M=6,8$, 14.10.1968 р.; Пів-

денно-Китайській, $M=7,8$, 16.08.1976 р.; Туранській плити (Туркменія), $M=7,0 - 7,3$, 1976 і 1984 рр.

На Східноєвропейській платформі зафіксовано ряд вогнищ місцевих землетрусів. Їх магнітуда, в основному, була невеликою і дорівнювала 3,0-4,0, рідше 5,0-5,5; а інтенсивність струшувань в епіцентрі при найсильніших подіях не перевищувала 7 балів за шкалою MSK-64. У 2004 році, 29 вересня, семибальний землетрус відбувся на Східноєвропейській платформі в районі Калінінграду на узбережжі Балтійського моря. Необхідність врахування, при проектуванні важливих споруд, можливості виникнення землетрусу такого рівня в районі Калінінграду була передбачена російськими і українськими сейсмологами [5 – 7].

У зв'язку з цим, при оцінці сейсмічної ситуації відповідальних об'єктів, розташованих на платформних ділянках, не можна не враховувати потенційної можливості виникнення на них сейсмічних подій високого енергетичного рівня (хоча вони і відбуваються тут значно рідше, ніж в активних районах) і слабких місцевих землетрусів з неглибокими вогнищами, які на невеликих ділянках можуть викликати інтенсивні коливання поверхні ґрунту, які спостерігалися, наприклад, на платформній частині території України при землетрусі 3.01.2002 р. в смт. Микулинці Тернопільської області [23].

Потенційну місцеву сейсмічність в районі Києва пов'язують з розломами в зоні зчленування північно-східного схилу Українського кристалічного щита та південно-західного борту Дніпрово-Донецької западини. Границею між ними є Київський розлом Дніпровської розломної зони, який має північно-східне простягання. Потенційну місцеву сейсмічність пов'язують також з, так званою, розсіяною (доменною) сейсмічністю [19, 24].

Відповідно до положень розділу 5 ГОСТ 27751-88(2003) "Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчету", для проектування відповідальних об'єктів НСК "Олімпійський" доцільно використовувати прогнозовану інтенсивність сейсмічних струшувань, вказану на нормативній карті ЗСР-2004-С, яка є частиною Державних будівельних норм В.1.1-12:2006. Згідно цієї карти нормативна (фоновна або вхідна) інтенсивність сейсмічних струшувань будівельного майданчика дорівнює $I_N = 6$ балів за шкалою MSK-64. Землетруси з такою інтенсивністю на території Києва можуть відбуватися 1 раз в 5000 років

(сейсмічний ризик 1 %). Інтенсивність сейсмічних струшувань з імовірністю 99 % не буде перевищувати 6 балів за найближчі 50 років. Вказана інтенсивність є усередненою для міста і заокругленою до цілого числа. Вона відноситься до ґрунтів 2-ї категорії за сейсмічними властивостями (табл. 1.1 ДБН В.1.1-12:2006) і не враховує можливого впливу місцевих ґрунтових умов.

На території майданчика НСК "Олімпійський" присутні ґрунти 3-ї і, навіть, 4-ї категорії за сейсмічними властивостями, з огляду на що необхідно було уточнити рівень прогнозованої сейсмічної інтенсивності (I_{RN}) з урахуванням геолого-геофізичних умов району розташування Києва і сейсмічного мікрорайонування майданчика.

В тектонічному відношенні Київ знаходиться у межах Білоцерківського (Фастівського) блоку [25] на півні-

чному схилі Українського щита [26, 27]. Кристалічний фундамент розбитий серією розломів субмеридіонального, субширотного, північно-східного і північно-західного простягання. В районі ділянки вишукувань виділяють кілька крупних розломів, неотектонічна активність яких підтверджується геолого-геоморфологічними даними. До них відносяться: *Київський розлом* субмеридіонального простягання, кінематичним типом якого є скидо-зсув; *Святошинський* і *Пирогівський* розломи субширотного простягання та *Пуща-Водицький* розлом північно-західного простягання. Також виділяються розломи (рис. 2), наявні у кристалічному фундаменті, неотектонічна активність яких не підтверджується, або підтверджується за геолого-геоморфологічними даними [28].

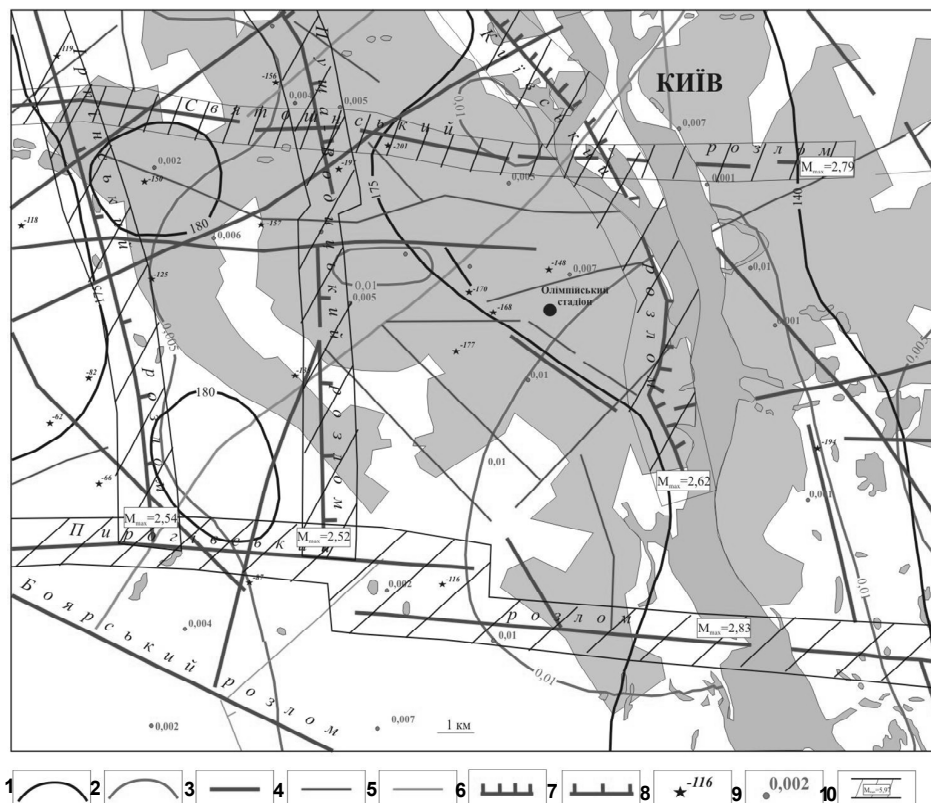


Рис. 2. Фрагмент карти неотектоніки Київського геодинамічного полігону (за даними Палієнко В.П., Спиці Р.О. Інститут географії НАН України)

- Ум. позначення: 1 – ізобазы сумарних амплітуд неотектонічних рухів земної кори (м);
 2 – ізографи середніх швидкостей неотектонічних рухів земної кори ((см/км)/тис.років); Розломи:
 3 – розломи, виявлені у кристалічному фундаменті, неотектонічна активність яких підтверджується за геолого-геоморфологічними даними; 4 – розломи, виявлені у кристалічному фундаменті, неотектонічна активність яких на даний час не підтверджена за геолого-геоморфологічними даними;
 5 – розломи, неотектонічна активність яких підтверджується геолого-геоморфологічними даними; Кінематичні типи розломів:
 6 – скидо-зсув, 7 – зсув; 8 – абсолютна відмітка поверхні кристалічного фундаменту;
 9 – градієнт середньої швидкості неотектонічних рухів земної кори; 10 – максимальна прогнозована магнітуда [28]

Найбільш вираженим за різними даними є Київський розлом, який відокремлює в кристалічному фундаменті тектонічні ступені з різницею абсолютних відміток 70 – 80 м. В неотектонічному плані найбільш активними є регіональні неоструктури (Київська ступінь, Деснянська сідловина) з різницею показників сумарних амплітуд рухів до 60 м. Зоні впливу Київського розлому відповідає значне підвищення середніх градієнтів швидкостей неотектонічних рухів земної кори (більше 0,01 (см/км)/тис.років в ареалах, які супроводжують вказаний розлом) [28], що характеризує зміну амплітуди неотектонічних рухів (в см) на відстані 1 км за період 1 тис. років.

Інші розломи з точки зору неотектонічної і сучасної тектонічної активності є менш вираженими. Активними за геоморфологічними і неотектонічними показниками серед субмеридіональних розломів в правобережній частині міста є Пуща-Водицький (у кристалічному фундаменті відмічена різниця абсолютних відміток 40-45 м, у сучасному рельєфі і будові осадової товщі – 10-15 м). Серед субширотних розломних порушень за геолого-геоморфологічними ознаками активними можна вважати Святошинський і Пирогівський розломи [28].

В геоморфологічному відношенні ділянка вишукувань розташована в місці примикання Хрещатого яру до долини р. Либідь. В районі Бессарабки до Хрещато-

го яру примикає Кловський яр. Нижче впадіння Хрещатого яру весь лівий берег древньої долини Либіді сильно помережений ярами та балками. На даний час схили Хрещатого яру та підніжжя Черепанової гори є сплановані та перекриті насипними ґрунтами.

Абсолютні відмітки поверхні землі в межах ділянки вишукувань коливаються в межах 127,0 – 138,5 м.

Геологічний розріз до розвіданої глибини 40,0 м складений:

- Техногенними ґрунтами: асфальтом, щебенем, насипними ґрунтами, які представлені пісками пилюватими та мілкими, середньої щільності, від вологих до насичених водою, супісками пластичними, суглинками та глинами напівтвердими, загальною потужністю 0,3-15,2 м, з включеннями будівельного сміття та щебеню 10-30 %. Згідно Таблиці 1.1. ДБН В.1.1-12:2006, на ділянках території НСК "Олімпійський" де цей шар має потужність понад 5 м, його ґрунти, формально, повинні бути віднесені до 4-ої категорії за сейсмічними властивостями.

- Сучасними делювіально-пролювіальними пісками пилюватими, середньої щільності, від маловологих до насичених водою, супісками піщанистими, пластичними, з лінзами та прошарками текучих, суглинками легкими піщанистими, м'якопластичними та глинами важкими, напівтвердими та тугопластичними, загальною потужністю 0,8-19,3 м. Згідно Таблиці 1.1. ДБН В.1.1-12:2006, цей шар може бути віднесений до 3-ї категорії за сейсмічними властивостями.

- Верхньочетвертинними та сучасними алювіально-делювіальними пісками пилюватими, середньої щільності, насиченими водою, з включенням гравію до 10 %, супісками піщанистими, пластичними, з включенням гравію 5-10 %, суглинками легкими піщанистими, тугопластичними та текучими, з включенням гравію 5-10 % та глинами легкими пилюватими, тугопластичними, загальною потужністю 0,7-12,2 м. Згідно табл. 1.1. ДБН В.1.1-12:2006, цей шар може бути віднесений до 2-ї категорії за сейсмічними властивостями.

- Неогеновими "полтавськими" пісками з прошарками мілких, щільними, насиченими водою, потужністю 13,6 м. Згідно табл. 1.1. ДБН В.1.1-12:2006, цей шар може бути віднесений до 2-ї категорії за сейсмічними властивостями.

- Верхньопалеогеновими "харківськими" пісками пилюватими, з прошарками супісків пластичних, щільними, насиченими водою, потужністю шару 2,5-8,8 м. Згідно табл. 1.1. ДБН В.1.1-12:2006, цей шар може бути віднесений до 2-ї категорії за сейсмічними властивостями.

- Середньопалеогеновими ґрунтами "київської" свити, представленими суглинками (наглинками) від твердих до м'якопластичних, потужністю 2,4-6,7 м та глинами ("київський мергель") твердими та напівтвердими, розкритою потужністю шару 5,2-13,2 м. Згідно табл. 1.1. ДБН В.1.1-12:2006, цей шар може бути віднесений до 2-ї категорії за сейсмічними властивостями.

Розрахункова інтенсивність сейсмічних впливів (розрахункова сейсмічність або бальність) визначається сумою уточненої нормативної інтенсивності сейсмічних струшувань (бальності) I_{RN} і її приросту ΔI за рахунок впливу ґрунтових умов на майданчику: $I_R = I_{RN} + \Delta I$. При розрахунку уточненої нормативної бальності і її приросту з точністю до 0.01 бала, оцінка розрахункової сейсмічної бальності може відрізнятися від їх заокруглених до цілого бала значень I_0 , представлених на картах загального сейсмічного районування [29]. У зв'язку з

цим, при оцінці сейсмічної небезпеки конкретних будівельних майданчиків, із залученням методів загального (ЗСР) і детального (ДСР) сейсмічного районування виконують уточнення значення нормативної бальності I_{RN} , а методами сейсмічного мікрорайонування (СМР) – значення її приросту ΔI . Підсумкову оцінку слід округляти до цілого бала.

Для уточнення рівня прогнозованої сейсмічної інтенсивності (I_{RN}) для території м. Києва використовувалися:

- уніфіковані дані про землетруси, які представляють потенційну сейсмічну небезпеку для території м. Києва;

- геолого-геофізичні, сейсмотектонічні, геодинамічні дані про структури, які можуть спричинити сейсмічну небезпеку на будівельному майданчику;

- прогнози значення максимальних магнітуд імовірних землетрусів, які можуть генеруватися в цих структурах;

- дані про характер загасання інтенсивності сейсмічних струшувань з відстанню від епіцентрів сильних землетрусів;

- фондові та опубліковані матеріали макросейсмічних та інструментальних сейсмологічних досліджень, проведених ІГФ НАН України в м. Києві;

- дані інженерно-геологічних досліджень, проведених у 2008 році на майданчику НСК "Олімпійський" Інститутом по вишукуванню та проектуванню автомобільних шляхів та мостів (АТЗТ Київсоюзшляхпроект) і представлених в документі "Технічний звіт за результатами інженерно-геологічних вишукувань для складання проекту, робочого проекту функціонування НСК "Олімпійський" (471/08-ІГ-ТЗ) – Київ: Фонди Інституту по вишукуванню та проектуванню автомобільних шляхів та мостів, 2008".

Уточнення нормативної бальності майданчика виконувалося з використанням методики розрахунку сейсмічної небезпеки, представленої в тематичних наукових збірниках "Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии" [30].

При розрахунках використовувалося модернізоване програмно-математичне забезпечення "BOCTOK-97" (Earthquake Adequate Sources Technology – EAST-97), розроблене на основі зазначеної методики в рамках Міжнародної програми з оцінки глобальної сейсмічної небезпеки (Global Seismic Hazard Assessment Program – GSHAP) [31].

У результаті виконаних розрахунків уточнене фонове значення сейсмічної бальності будівельного майданчика I_{RN} виявилось рівним 5,95 бала (середній період повторення 1 раз в 5000 років, умовний сейсмічний ризик 1 %). Вказана оцінка I_{RN} відноситься до ґрунтів 2-ї категорії за сейсмічними властивостями і не враховує можливого впливу ґрунтових умов досліджуваного майданчика. В той же час відомо, що інженерно-геологічні, геоморфологічні, гідрогеологічні і геотектонічні особливості будівельного майданчика можуть мати значний вплив на величину локальних сейсмічних проявів.

Для оцінки розрахункового значення інтенсивності сейсмічних струшувань I_R , що враховує вплив локальних умов під майданчиком НСК "Олімпійський", проводилося його сейсмічне мікрорайонування з урахуванням вимог нормативних документів і методичних рекомендацій [29, 32 – 35].

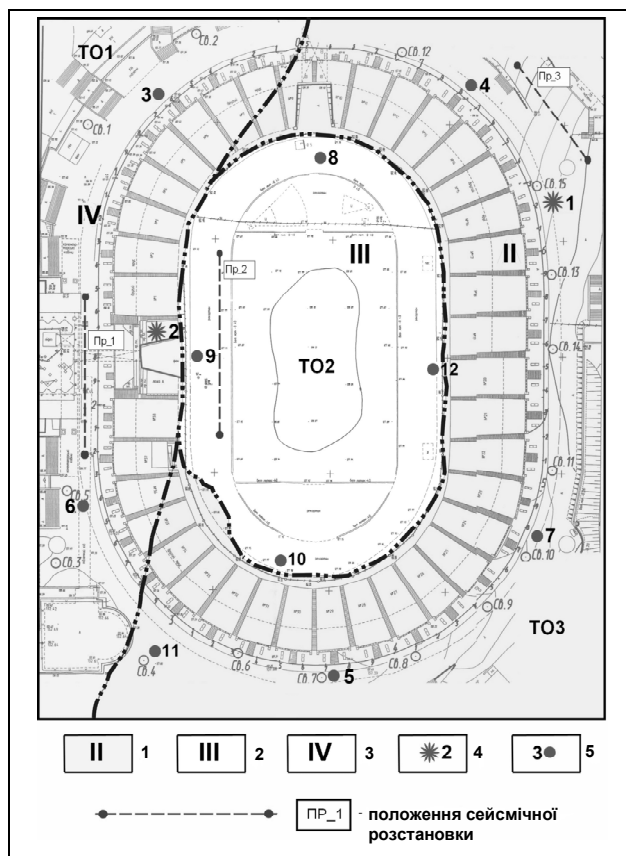


Рис. 3. Схема районування будівельного майданчика НСК "Олімпійський" за сейсмічними властивостями ґрунтів.

(Склали: О.М. Останін, О.М. Складар)

Ум. позначення: 1 – район з переважанням у верхній 10-метровій частині геологічного розрізу ґрунтів II категорії за сейсмічними властивостями; 2 – район з переважанням у верхній 10-метровій частині геологічного розрізу ґрунтів III категорії за сейсмічними властивостями; 3 – район з переважанням у верхній 10-метровій частині геологічного розрізу ґрунтів IV категорії за сейсмічними властивостями; 4 – пункти цілодобової реєстрації мікросейсм; 5 – пункти з 3-ох годинними інтервалами реєстрації мікросейсм. ПР_1 – положення сейсмічних профілів

Найбільш ефективним методом при вирішенні задач сейсмічного мікрорайонування є реєстрація максимальних можливих для даної території землетрусів. У зв'язку з тим, що подібні події відбуваються досить рідко, навіть у високосейсмічних регіонах, а також, враховуючи обмеженість термінів робіт і низьку сейсмічну активність території древньої платформи, для сейсмічного мікрорайонування (СМР) ділянки проекрованої реконструкції НСК "Олімпійський" використано методи сейсмічних жорсткостей і реєстрації високочастотних мікросейсм.

За гідрогеологічними умовами, літологічним складом і фізико-механічними властивостями ґрунтів у верхній 10-ти метровій товщі інженерно-геологічного розрізу, який спричиняє основний вплив на приріст сейсмічної інтенсивності, в межах досліджуваного майданчика групою сейсмологів під керівництвом О.М. Складар виділено три таксонометричні одиниці (ТО) (рис. 3):

ТО1 займає західну частину майданчика і відповідає площі розповсюдження насипних ґрунтів, які згідно Табл. 1.1. ДБН В.1.1-12:2006 відносяться до 4-ої категорії за сейсмічними властивостями. Згідно табл. 1 ДБН В.1.1-12:2006 "Будівництво в сейсмічних районах України" [29] приріст сейсмічної інтенсивності для ґрунтових умов подібного типу визначається на підставі спеціальних досліджень.

ТО2 збігається з межами футбольного поля в центральній частині майданчика. Вона складена насипними ґрунтами та обводненими пісками і супісками, які згідно Таблиці 1.1. ДБН В.1.1-12:2006 відносяться до 3-ої категорії за сейсмічними властивостями. Згідно табл.

1 ДБН В.1.1-12:2006: "Будівництво в сейсмічних районах України" [29] приріст сейсмічної інтенсивності, відносно початкової, для ґрунтових умов подібного типу складає $\Delta I = 0$ балів.

Згідно з вимогами нормативних документів ДБН В.1.1-12:2006 [29], РСН 60-86 [34] та РСН 65-87 [35], обов'язковим методом оцінки приросту сейсмічної бальності при СМР майданчиків є метод сейсмічних жорсткостей, розроблений С.В. Медведєвим [36]. Застосування методу ґрунтується на емпіричній залежності між приростами сейсмічної інтенсивності і сейсмічними жорсткостями порід (добуток швидкості сейсмічних хвиль на густину порід) на досліджуваному і еталонному пунктах. Враховується також вплив глибини залягання рівня ґрунтових вод і резонансні ефекти у верхній частині геологічного розрізу.

При переході з середовища, яке характеризується більшою сейсмічною жорсткістю, в середовище з меншою сейсмічною жорсткістю амплітуда сейсмічних хвиль збільшується [37] і навпаки. Середньому значенню сейсмічної жорсткості по регіону відповідає фонові сейсмічності, визначена нормативними документами. Місцеві відхилення сейсмічної жорсткості від середньої визначають основний приріст сейсмічної інтенсивності. Для врахування цього ефекту на зміну (збільшення або зменшення) сейсмічної бальності майданчиків використовуються емпіричні формули Медведєва [32, 35, 36, 38].

Відповідно до РСН 60-86 [34], для оцінки приросту сейсмічності необхідно вибрати еталонний ґрунт, близький за сейсмічними властивостями до ґрунту 2-ої

категорії, до яких відноситься встановлене в розділі 2 уточнене значення оцінки сейсмічної небезпеки території НСК "Олімпійський". Параметри еталонного ґрунту необхідні для СМР майданчика методами сейсмічних жорсткостей і реєстрації короткоперіодних мікросейсм.

В якості **еталонних ґрунтів** прийняті ґрунти в районі розміщення пункту сейсмологічних спостережень № 1 поблизу інженерно-розвідувальної свердловини № 15 на території таксонометричної одиниці ТО3 майданчика проектного будівництва НСК "Олімпійський". В складі еталонного ґрунту переважають не обводнені глини, важкі, жовто-сірі, коричнево-сірі, тверді та напівтверді з тонкими прошарками піску пілуватого та супісків. Згідно з табл. 1 ДБН В.1.1-12:2006 [29], вони відносяться до 2-ї категорії за сейсмічними властивостями. Встановлене за допомогою методу заломлених хвиль, з урахуванням даних Київського інституту інженерних вишукувань і досліджень "Енергопроект" та матеріалів інституту АТЗТ "Київсоюзшляхпроект", значення середньої швидкості поширення поперечних хвиль на ділянці з еталонними ґрунтами дорівнює $V_{se} = 260$ м/с, а середнє значення питомої густини ґрунту – $\rho_e = 1,93$ г/см³.

Розрахунок приростів інтенсивності сейсмічних струшувань (бальності) за методом сейсмічних жорсткостей з урахуванням впливу рівня ґрунтових вод та резонансних ефектів здійснювався по формулі з пункту 3.4.2 РСН 65-87 [36]:

$$\Delta I = \Delta I_{сж} + \Delta I_{гв} + \Delta I_{рез}.$$

де $\Delta I_{сж} = 1,67 \lg(V_e \rho_e / V_i \rho_i)$; V_e , ρ_e , V_i і ρ_i – середньозважені (для 10-метрового шару) швидкості поширення поперечних хвиль і густини порід на еталонному (е) і досліджуваному (і) пунктах, відповідно.

Очевидно, що для таксонометричної одиниці ТО3, ґрунти якої були прийняті за еталонні, приріст сейсмічної бальності $\Delta I = 0$.

Для узагальнених ґрунтових умов таксонометричної одиниці ТО2 в центральній частині території стадіону, складеної в основному супісками пластичної консистенції, тугопластичними глинами і водонасиченими пілуватими пісками – $V_s = 247$ м/с, густина $\rho = 1,99$ г/см³.

Для ґрунтових умов таксонометричної одиниці ТО3, виділеної в західній частині досліджуваної території і складеної насипними ґрунтами (пісок з домішками будівельного сміття) – $V_s = 169$ м/с, $\rho = 1,63$ г/см³.

Результати розрахунку $\Delta I_{сж}$ подані в табл. 1 рядок 1.

Приріст сейсмічної бальності за вплив глибини залягання рівня ґрунтових вод (h) визначався за формулою з пункту 3.4.7 нормативного документу РСН 65-87 [35]:

$$\Delta I_{гв} = \alpha e^{-0,04 h/h}.$$

Коефіцієнт α залежить від літологічного складу порід. Для досліджуваної території $\alpha \approx 1$.

За даним інженерно-геологічних досліджень глибина залягання рівня підземних вод в східній і західній частинах досліджуваної території (райони ТО1 і ТО3) змінюється від 8,4 до 12,0 м, в центральній частині (район ТО2) складає, в середньому, 1,9 м. Результати розрахунку $\Delta I_{гв}$ представлені в таблиці 1 рядок 2.

У зв'язку з відсутністю чітких границь відбивання сейсмічних хвиль у верхній частині геологічного розрізу, значення величини поправки $\Delta I_{рез}$ за вплив резонансних ефектів для досліджуваної території прийнято рівним нулю.

Таблиця 1. Прирости інтенсивності сейсмічних струшувань, визначені за різними методами

№ п.п.	Метод визначення	Приріст інтенсивності сейсмічних струшувань на таксонометричних одиницях майданчика в балах макросейсмічної шкали MSK-64		
		ТО1 – ґрунти IV категорії	ТО2 – ґрунти III категорії	ТО3 – ґрунти II категорії
1	За сейсмічними жорсткостями $\Delta I_{сж}$	0,43	0,01	0
2	За рівнем ґрунтових вод $\Delta I_{гв}$	0,06	0,87	0
3	Сума приростів за сейсмічними жорсткостями і рівнем ґрунтових вод ΔI	0,49	0,88	0
4	За методом реєстрації мікросейсм ΔI_r	0,23	0,74	0,14
5	За усіма методами (консервативна оцінка) ΔI_M	0,49	0,88	0,14

Загальний приріст сейсмічної інтенсивності, відносно початкової, для ґрунтових умов території реконструкції НСК "Олімпійський" за методом сейсмічних жорсткостей ΔI представлений в табл. 1 рядок 3.

Виконання практичних робіт із сейсмічного мікрорайонування будівельних майданчиків передбачає також використання методу реєстрації короткоперіодних мікросейсм [29, 32-35], який вважається одним з найбільш ефективних і об'єктивних інструментальних методів СМР при малих термінах проведення польових сейсмологічних вишукувань. Застосування методу ґрунтується на порівнянні параметрів мікроколивань ґрунтів, які збуджуються джерелами природного і техногенного походження на досліджуваній і еталонній ділянках. Ґрунт при цьому розглядається як фільтр, який може змінювати амплітудний і фазовий спектри коливань в сейсмічних хвилях, падаючих на підшву осадового чохла. Прирости сейсмічної інтенсивності визначаються за результатами порівняння амплітуд коливань ґрунтів в пунктах реєстрації на різних ділянках майданчика і на еталонному пункті.

При проведенні робіт виконувалися вимоги розділу 3 РСН 60-86 "Инженерные изыскания для строитель-

ва. Сейсмическое микрорайонирование. Нормы производства работ" [34].

Визначений за методом реєстрації мікросейсм прогнозований приріст сейсмічної інтенсивності для різних таксонометричних одиниць ґрунтів на майданчику представлений в табл. 1 рядок 4.

При оцінці сейсмічної небезпеки території прийнято застосовувати "консервативний" підхід [33], при якому приріст сейсмічної інтенсивності для виділених таксонометричних одиниць необхідно приймати рівним максимальному значенню, визначеному різними методами. З огляду на це, приріст сейсмічної інтенсивності для таксонометричних одиниць ґрунтів на майданчику буде мати значення представлені в табл. 1 рядок 5.

З урахуванням вищенаведеного, розрахована з точністю до сотої долі бала, уточнена з урахуванням впливу локальних ґрунтових умов, сейсмічна інтенсивність для майданчика НСК "Олімпійський" в м. Києві складає

$$I_{RM} = I_{RN} + \Delta I_M:$$

$$\text{для ТО1} - I_{RM} = 5,95 + 0,42 \text{ бала} = 6,37 \text{ бала},$$

$$\text{для ТО2} - I_{RM} = 5,95 + 0,87 \text{ бала} = 6,82 \text{ бала},$$

$$\text{для ТО3} - I_{RM} = 5,95 + 0,14 \text{ бала} = 6,09 \text{ бала}.$$

Оцінка I_{RM} повинна заокруглюватися до цілого числа, так як чинний ДБН В.1.1-12:2006 не передбачає

дробових значень сейсмічної бальності. Він базується на шкалі сейсмічної інтенсивності MSK-64, яка оперує цілими значеннями балів, так само як і її пізніші модифікації, в т.ч. і європейська шкала EMS-98.

Отже, уточнена з урахуванням впливу локальних ґрунтових умов прогнозована інтенсивність сейсмічних струшувань території НСК "Олімпійський" в м. Києві складає:

6 балів за шкалою MSK-64 з допустимим сейсмічним ризиком – 1 % (період повторюваності землетрусу 5000 років) для всієї території розміщення трибун стадіону (ТО1 і ТО3);

7 балів – для території футбольного поля (ТО2). Підвищена сейсмічна бальність тут, в першу чергу, пов'язана з високим рівнем ґрунтових вод.

1. Старостенко В.И., Баран П.И., Барцевский Н.Е., Горлицкий Б.А. та ін. Киев: геология и геофизика окружающей среды и факторы, неблагоприятно на нее влияющие. – Геофиз. журн. Том 23, № 4, 2001. 2. Харитонов О.М., Костюк О.П., Кутас В.В., Пронишин Р.С., та ін. Сейсмичность территории Украины. – Геофиз. журн. – 1996. – 18, № 1. 3. Рейснер Г.И. Очередной урок сейсмическому районированию. – Физика Земли, № 3, 1993. 4. Старостенко В.И., Рыбин В.Ф., Джебо С.В., Звольский С.Т., та ін. Национальный заповедник "София Киевская": геолого-геофизический мониторинг и его результаты. – Геофиз. журн., № 3, Т.27, 2005. 5. Сафронов О.Н. Сейсмоструктурные условия и сейсмическая опасность платформенной части Украины. – Автореф. дис. ... канд. геол. наук – К., 2003. 6. Гарецкий В.Г., Айзберг Р.Е., Аронов А.Г., Карабанов А.К., та ін. Общее сейсмическое районирование Белорусско-Прибалтийского региона // Доклады АН Беларуси. – М., – 1997. – Т. 41. – № 1. 7. Айзберг Р.Е., Аронов А. Г., Гарецкий Р. Г., Карабанов А.К., та ін. Сейсмоструктура Беларуси и Прибалтики. – Литосфера. Науковий часопис. – М., № 7, 1997. 8. Кендзера О.В., Скляр О.М., Гурова І.Ю., Квачук Л.А. – Сейсмічна небезпека території гідровузла Київської ГЕС. – Вісн. Київ ун-ту. Сер. Геологія. Вип. 26-27. – К., 2003. – С.13-17. 9. Адушкин В.В., Айзберг Р.Е., Аронов А.Г., Кендзера А.В., та ін. Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской платформы. Кн. 1 – Петрозаводск, 2007. 10. Ризниченко Ю.В., Друма А.В., Степаненко Н.Я., Симонова Н.А. Сейсмичность и сейсмическая опасность Карпатского региона // Доклады АН Беларуси. – М., – 1997. – Т. 41. – № 1. 11. Кутас В.В. Уровень сейсмической сотрясаемости территории Киева // Геофиз. журн. – 2000. – 22, № 3. 12. Кутас В.В., Омельченко В.Д. Сейсмическая сотрясаемость Киева // Будівельні конструкції. – 2004. – К. Вип. 60. 13. Есеев С.В. Землетрясения Украины. – К. – 1961. 14. Карпатское землетрясение 4 марта 1977 г. и его последствия. – М. – 1980. 15. Пустовитенко Б.Г., Королев В.А., Князева В.С. и др. Распределение интенсивности сотрясений на территории Украины от Карпатского

землетрясения 30 августа 1986 г. // Сейсмол. бюл. западной территориальной зоны единой системы сейсмических наблюдений СССР в 1986 г. – К., 1989. 16. Чекунов А.В., Кутас В.В., Харитонов О.М. Сейсмичность Киева // Геол. журн. – 1991. – № 2. – С. 24-33. 17. Кутас В.В., Омельченко В.Д. Интенсивность сотрясений в ранних районах Киева при карпатском землетрясении 30 мая 1990 г. – Геофиз. журн., т.30, № 3, 2008. – С.34-48. 18. Алказ В.Г. Научно методические основы прогноза сейсмической опасности и сейсмического риска территории Республики Молдова. Автореф. дис. ... д-ра физ.-мат. наук. – Кишинев, 2006. 19. Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е., Пустовитенко А.А. Новые карты сейсмического районирования территории Украины. Особенности модели сейсмической опасности // Геофиз. журн. – 2006. – 28, № 3. – С. 54 – 77. 20. Constantinescu L., Enescu D. Cutremurele din Vrancea in cadrul stiintific si tehnologic. – Bucuresti: Editura Academiei Republicii Socialiste Romania, 1985. 21. Сейсмическое районирование территории СССР. (Методические основы и региональное описание карты 1978 г.). /Отв. ред. В.И.Бунз, Г.П., Горшков. – М.: 1980. 22. Сагалова Е.А. Землетрусы Буковины. /В кн.: Каталог карпатских землетрусов, N.7-8 (10-11), 1961-1962. – К., 1964. 23. Кендзера О.В., Вербицкий С.Т., Стасюк А.Ф., Пронишин Р.С., та ін. Землетрус 3 січня 2002 року у Тернопільському районі Тернопільської області. – Вісн. Київ. ун-ту. Сер. Геологія. Вип. 23-24. 2002. 24. Улюмов В.И. Сейсмогеодинамика и сейсмическое районирование Северной Евразии. – Вестник ОГН РАН, № 1, 1999. – С.1-32. 25. Карта разломно-блоковой тектоники Украинского щита. М-б 1:000000 /Под ред. Г.И. Каляева. – К., 1984. 26. Бондарчук В.Г. Геология Украины. – К., 1959. 27. Рябенко В.А. Особенности тектоники докембрия Украинского щита. Дис. д-р. геол.-мин. наук. – К., 1974. 28. Старостенко В.И., Баран П.И., Барцевский Н.Е., Горлицкий Б.А. и др. Киев: геология и геофизика окружающей среды и факторы, неблагоприятно на нее влияющие // Геофиз. журн. № 4, Т.23, 2001. 29. Державні будівельні норми ДБН В.1.1-12:2006 "Будівництво в сейсмічних районах України". – К., 2006. 30. Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. – М., 1995. – Вып. 1, 2-3. 31. Annali di geofisica /The Global Seismic Hazard assessment Program (GSHAP), 1992-1999. 32. Рекомендации по сейсмическому микрорайонированию при инженерных изысканиях для строительства. – М., 1985. 33. Оценка влияния грунтовых условий на сейсмическую опасность. Методическое руководство по сейсмическому микрорайонированию /Отв.ред. О.В.Павлов – М., 1988. 34. РСН 60-86. Инженерные изыскания для строительства. Сейсмическое микрорайонирование. Технические требования к производству работ. Госстрой РСФСР. – М.: Мос ЦТИСИЗ Госстроя РСФСР. 1987. 35. РСН 65-87. Инженерные изыскания для строительства. Сейсмическое микрорайонирование. Технические требования к производству работ. Госстрой РСФСР. – М.: Мос ЦТИСИЗ Госстроя РСФСР. 1987. 36. Медведев С.В. Инженерная сейсмология. – М., 1962. 37. Аки К., Ричардс П. Количественная сейсмология, Т1, Т2. – М., 1983. 38. Ляховицкий Ф.М. и др. Инженерная геофизика. – М., 1989. 39. Сафронов О.Н., Симова В.И. Каталог землетрясений и потенциальные сейсмогенные зоны платформенной части УССР // Сейсмологический бюллетень сейсмических станций "Минск" (Плещеницы) и "Нарочь" за 1986 г. ОНТИТИ. – Минск, 1989.

Надійшла до редколегії 27.12.09

УДК 550.552.53.553

І. Безродна, канд. геол. наук

ВИВЧЕННЯ ПЛОЩАДНИХ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ЗМІНИ ЄМНІСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОРІД-КОЛЕКТОРІВ ЗА ДАНИМИ КОМПЛЕКСУ МЕТОДІВ ГДС

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

Досліджені можливості визначення площадних закономірностей змін структури пустотного простору складно-побудованих теригенних порід-колекторів за даними ГДС. Визначені концентрації пустот розрахованих форматів, виділені пласти-колектори, оцінені типи колекторів. На картах та об'ємних зображеннях виділені зони розвитку перспективних колекторів по кожному з продуктивних горизонтів.

The possibilities of the determination of areal regularities of the transformation of empty space of composite terrigenous reservoirs are under study on the data of geophysical investigation of the bore holes. Concentration emptiness calculated of formats are defined, roc-collectors beds, the types of reservoirs evaluated. On the maps and three-dimensional images of selected areas of advanced collectors for each of the productive horizons.

Вступ. Приріст видобутку нафти та газу України є однією із важливіших умов поліпшення стану паливно-енергетичного комплексу країни. Його перспективи на території основних нафтогазоперспективних провінцій України пов'язані із пошуками і розвідкою складнобудованих колекторів. У зв'язку із збільшенням глибин досліджень, температур і тисків в інтервалах пошуку та розвідки, присутності складнобудованих типів порід-колекторів наявний комплекс геофізичних досліджень при стандартних методах інтерпретації даних ГДС, особливо при площадних узагальненнях, не дає надійних результатів. Підвищення ефективності геофізичних досліджень в

таких умовах можливе за рахунок застосування нових методичних прийомів інтерпретації даних ГДС.

Постановка проблеми. Площадні дослідження за даними ГДС проводяться в Україні на основі сучасних інтегральних систем інтерпретації ("Геопошук", "Petrel" тощо) [1, 2], але можливості кількісної оцінки структури пустотного простору, оцінка типу пористості в масштабах площі в цих системах обмежені і не завжди дають необхідні результати для визначення закономірностей змін таких властивостей колекторів на площах, що досліджуються.

Не дивлячись на те, що питання тріщинуватості, класифікації тріщин, визначення їх природи та вивчення структури пустотного простору складнобудованих колекторів розглядалися багатьма вченими (Багринцева К.І., Вендельштейн Б.Ю., Вижва С.А., Дзєбань І.П., Добринін В.М., Карпенко О.М., Курганський В.М., Ларин С.Б., Лукин А.Є, Манюк М.І., Маслов Б.П., Продайвода Г.Т., Резванов Р.А., Сміхов Е.М., Трубенко О.М. та ін.) протягом багатьох років, на сучасному етапі воно викликає підвищений інтерес у геологів і геофізиків.

На кафедрі геофізики Київського національного університету імені Тараса Шевченка протягом останніх років розроблена методика оцінки структури пустотного простору, яка базується на методах механіки стохастично неоднорідних середовищ.

Запропонована методика кількісної оцінки структури пустотного простору складнобудованих порід-колекторів [3-5] побудована на стійких алгоритмах визначення форматів пустот та їх концентрацій за допомогою комплексу даних ГДС на основі досліджених у свердловинних умовах акустичних даних.

Метою роботи є розгляд можливостей запропонованої методики при площадних дослідженнях та кількісний аналіз зміни ємнісних властивостей порід-колекторів окремих інтервалів свердловин Андріяшівської площі ДДЗ.

Запропонована автором **методика** ґрунтується на матричній моделі багатокомпонентного порово-тріщинно-кавернозного колектора, ефективні акустичні, фільтраційно-ємнісні характеристики якого визначаються методом умовних моментних функцій із застосуванням розрахункової схеми Морі-Танакі.

Практично методика дослідження структури пустотного простору порід використовує стандартні каротажні дані, результати моделювання геофізичних параметрів.

Як виявлено багатьма дослідниками, найбільш чутливими і інформативними методами, що дозволяють вивчати структуру пустотного простору, є ультразвукові, акустичні, сейсмоакустичні методи, які в залежності від бази досліджень вивчають швидкості розповсюдження пружних хвиль різної частоти.

Відповідно до цього акустичні методи каротажу є основою дослідження структури пустотного простору даної методики, особливо, дані акустичного широкопasmового каротажу. Радіоактивні методи досліджень застосовуються для виділення пластів колекторів та вибірок порід, для визначення коефіцієнта пористості (в нашому випадку за даними НГК) та густини (за даними ГГК). Електричні методи досліджень застосовуються для виділення пластів колекторів та вибірок порід і для визначення типу флюїду при відсутності таких даних.

Для інтерпретації даних використовується база даних в будь-якій системі обробки даних ГДС (в нашому випадку в системі "Геопошук"), в якій і проводиться первинна обробка, інтерпретація виділених інтервалів та експортування необхідних даних для обробки за розробленими програмами.

Алгоритм методики інтерпретації даних ГДС складається із декількох блоків обробки, на основі яких вирішуються задачі:

- кількісна оцінка типів пустот в породі-колекторі (на основі методів механіки стохастично неоднорідних середовищ з врахуванням розрахункової схеми Морі-Танакі визначаються форми пустот в породі та їх концентрації);
- визначення вкладу різних типів пористості в загальну (кожен тип пустот – пори, тріщини, каверни – характеризується окремим діапазоном форматів [4], на основі чисельної обробки даних оцінки структури пусто-

тотного простору визначаються коефіцієнти міжзернової, тріщинної та кавернозної пористості);

- кількісна оцінка типу колектора та виділення інтервалів перспективних колекторів (на основі прийнятої в промисловій геофізиці класифікації за даними визначення типів пористості в кожному інтервалі або пласті оцінюється тип колектора від простого порового до складних тріщино-порово-кавернозних та ін.).

Модель структури пустотного простору задана за результатами попередніх досліджень автора [2].

Вибір початкового наближення структури пустотного простору є пошуком глобальних екстремумів функції складного типу при закріплених параметрах α_n і проводиться методом перебору значень $C_n(\alpha_n)$ з кроком Δ_n , обчислених для кожного формату з умови:

$$x_{v+1}(C_n + \Delta_n, \alpha_n) - x_v(C_n, \alpha_n) = k\varepsilon,$$

де ε - експериментальна точність визначення вхідних параметрів, k залежить від необхідної точності отримання наближення.

Вибір початкового наближення структури пустотного простору здійснюється програмою "Rekurs", що забезпечує експресне знаходження точки з мінімальним значенням рівня МНК при перетині області пошукових параметрів по вектору при фіксованих значеннях параметрів пустот α .

Адаптація моделі до результатів геофізичних досліджень свердловин здійснювана не шляхом настроювання моделей за результатами петрофізичних досліджень керну та використання методів статистичного аналізу, а шляхом використання методів глобальної оптимізації даних акустичних каротажних досліджень. Петрофізичні дослідження і стандартні методи інтерпретації даних ГДС використовуються при виборі початкового наближення та при побудові алгоритмів глобальної оптимізації.

Обернена задача вирішується шляхом побудови такої теоретичної моделі розповсюдження пружних коливань в геологічному середовищі, що не суперечить спостереженим даним каротажних акустичних методів.

При вирішенні оберненої задачі використовуються обмеження на значення концентрацій пустот різних форматів $C(\alpha_n)$:

$$\sum_{n=1}^N C(\alpha_n) \leq K_n,$$

де K_n - коефіцієнт пористості, визначений незалежним способом (для нашого випадку за даними НГК).

Крім того накладається умова, що концентрація пустот із певним форматом не може бути більше значення, яке забезпечує збіг експериментальних величин швидкостей пружних хвиль з теоретично розрахованими при наявності пустот тільки одного формату. Зрозуміло, що концентрації пустот мають бути невід'ємні.

Інверсія даних здійснюється відомим методом найменших квадратів (МНК) із використанням методів нелінійної оптимізації. Оцінюється квадратична функція відхилень значень спостережених швидкостей пластів порід від значень теоретичної моделі.

Пошук глобального екстремуму квадратичної функції [2] розділяється на два етапи: дослідження поведінки цільової функції на обмеженому просторі зміни невідомих параметрів і визначення глобального локального мінімуму.

За даними інверсії знаходять значення форматів пустот та їх концентрацій для кожного окремого пласта і визначають структуру пустотного простору пластів. На основі кількісного набору форматів пустот та їх концент-

раций, на основі аналізу кожного окремого інтервалу здійснюється класифікація пластів за типами пористості, виділяються зони інтенсивної тріщинуватості, кавернозності, ускладнення колекторів тощо, вирізняються інтервали перспективних колекторів. Кінцеві результати визначення структури пустотного простору представляються в таблицях довільної форми, у вигляді графіків, гістограм по окремих пластах чи вибірках пластів-колекторів.

В даній роботі вивчаються можливості розробленої методики при площадних дослідженнях з використанням для побудов інтегрованої системи "Petrel". Для узагальнення результатів інтерпретації та ілюстрації результатів інверсії даних ГДС інтервалів 10 свердловин побудовані карти просторового розподілення тріщинної та вторинної пористості на площі досліджень, на яких показано середнє значення коефіцієнтів тріщинної та вторинної пористості в окремих горизонтах на площі досліджень.

Результати досліджень. Автором досліджувалися теригенні породи горизонтів В-19 та В-20 з 10 свердловин Андріяшівської площі.

Андріяшівське газоконденсатне родовище розташоване на території Роменського району Сумської області 24 км на захід від м. Ромни в центральній зоні північно-західної частини Дніпровсько-Донецької западини. За результатами проведення геологорозвідувальних робіт на Андріяшівському родовищі встановлена промислова газона-

ність горизонтів В-19в, В-19н, В-20 (візейський ярус), що вивчаються в роботі. Розріз горизонтів представлений теригенними породами різної літології. Колекторами є пісковики кварцові, світло-сірі і сірі, переважно середньо- і дрібнозернисті, іноді грубозернисті, алевроитисті.

За результатами попередньої інтерпретації комплексу методів геофізичних досліджень свердловин (УкрДГРІ) в системі "Геопошук" (рис. 1) були відібрані дані ГДС по пластам-колекторам горизонтів В-19, В-20 десяти свердловин (табл. 1) Андріяшівської площі.

Дослідження проводилися на основі використання даних ГДС (нейтронний гамма-каротаж – НГК, гамма-каротаж – ГК, акустичний каротаж – АК, боковий каротаж – БК), аналізу літературних та фондових геолого-геофізичних матеріалів. При цьому коефіцієнт пористості (K_n) визначався за даними НГК, а інтервальний час пробігу пружної хвилі (ΔT_p) – за даними АК.

За пластами кожного петрографічного типу однотипних з точки зору структури пустотного простору сформовано від 2 до 4 вибірок порід для інтервалу досліджень кожної свердловини. Досліджувані породи переважно високопористі (значення пористості в досліджених пластах змінюється від 2,45 % для пластів-неколекторів до 22,4 % загальної пористості при середньому значенні 10,89 %).

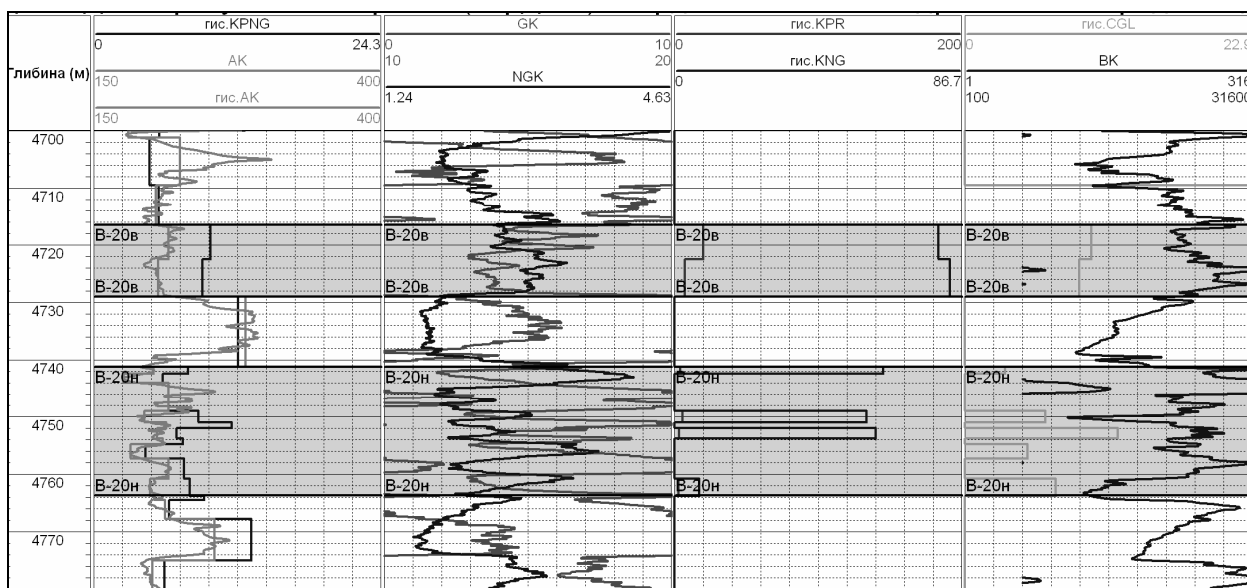


Рис. 1. Дані ГДС та результати обробки (УкрДГРІ) даних інтервалу свердловини № 54

Таблиця 1. Інтервали визначення структури пустотного простору свердловин Андріяшівського родовища

№ з.п.	№ свердловини	Покрівля інтервалу досліджень, м	Підшва інтервалу досліджень, м
1	51	4510,0	4631,0
2	54	4625,5	4753,8
3	59	4579,4	4744,0
4	60	4629,0	4755,0
5	62	4609,4	4729,0
6	64	4570,2	4693,0
7	67	4646,4	4776,4
8	68	4674,8	4787,6
9	70	4670,0	4789,0
10	73	4622,0	4726,4

Математична модель породи-колектора представлена у вигляді жорсткої полімінеральної матриці, армованої спектром пустот (міжзернові пори, мікротріщини), що апроксимуються хаотично орієнтованими сфероїдами обертання із різними форматами $\alpha = a/c$ (де a та c – на-

півосі сфероїда вздовж та перпендикулярно вісі обертання). Пори заповнені аналогом пластового флюїду.

Параметри матриці моделі та початкове наближення для визначення структури пустотного простору вибрані на основі результатів досліджень, що проводились

для кожної вибірки окремо. Розрахунок параметрів матриці проводився для кожного з окремих вибірок порід.

Параметри матриці порід (модуль об'ємного стиснення (K), модуль зсуву (μ) та густина скелета (ρ) породи-колектора) визначалися за допомогою кореляційних рівнянь. $\Delta T_p = f(K\mu)$; $\Delta T_s = f(K\mu)$; $\rho = f(K\mu)$. Початкове наближення структури тріщинно-порового визначалося на основі попередніх результатів моделювання автора. Параметри пустотних наповнювачів відповідали мінералізованій воді і газу.

Після підбору початкового наближення визначалась структура пустотного простору пластів, що кількісно характеризується набором форматів пустот та їх концентрацій у пласті породи-колектора. Типи колекторів визначалися по концентраціях пустот кожного з відповідних форматів.

В результаті кількісної оцінки пористості (приклад визначення для свердловини № 62 наведений на

рис. 2) та статистичного аналізу даних зроблені наступні висновки.

В інтервалі досліджень в усіх свердловинах переважають пори міжзернового типу (формат пустот $\alpha = 0.88 \div 0.91$) в середньому міжзернова пористість складає 5,91% (54% загальної пористості), але є пласти (один або максимально два на інтервал свердловини), де міжзернова пористість майже відсутня.

Концентрації тріщин (формат пустот $\alpha = 0.004 \div 0.00083$) в породах змінюються від 0.06 % в породах-неколекторах до 1,89 % в тріщинних колекторах (8,82 % загальної пористості) при середньому значенні 0.80 %.

Значення коефіцієнта перехідної пористості (формат пустот $\alpha = 0.032 \div 0.064$) складає $K_{п(перех)}$ для пластів в середньому 4,59 % (44,05 % загальної пористості), при максимальних значеннях – 20,39 %, а в окремих випадках значення коефіцієнта перехідної пористості дорівнює нулеві.

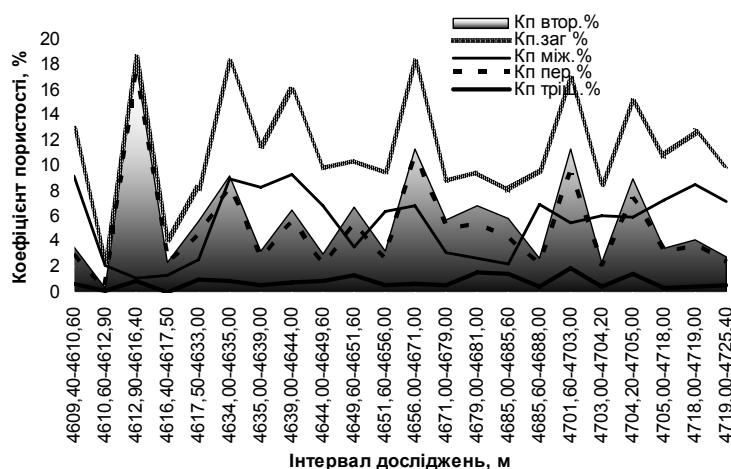


Рис. 2. Результати визначення структури пустотного простору пластів інтервалу (4609-4725 м) свердловини № 62 Андріяшівського родовища

Вторинна пористість ($K_{п(втор)} = K_{п(тріщ)} + K_{п(перех)}$) відсутня у пластів-неколекторів і сягає максимальних значень 21,13 % в пластах при відсутності або малих значеннях міжзернової пористості.

Загалом, за даними визначення концентрації пустот означених форматів виділені пласти-колектори та оцінені їх типи. З 161 виділеного пласта неперспективними можна вважати 51,28 % пластів, що досліджувалися, решта можуть вважатися колекторами. При визначенні типів пористості пласти-колектори оцінені як колектори 4 типів: гранулярний, тріщинно-гранулярний, гранулярно-тріщинний та тріщинний. При аналізі даних інтервалів всіх десяти свердловин можна зробити висновок, що у породах-колекторах переважає гранулярно-тріщинний тип колектора.

На основі статистичного аналізу проведених досліджень структури пустотного простору порід продуктивних горизонтів В-19 та В-20 десяти свердловин Андріяшівського родовища перспективні пласти-колектори виявилися розповсюдженими в свердловинах нерівномірно.

Для дослідження закономірностей в змінах різних типів пористості, а відповідно і оцінці перспективності колекторів на родовищі була використана інтегрована система Petrel.

За даними кількісного аналізу типів пористості розроблена математична модель та для кількісної оцінки просторових змін тріщинної та вторинної пористостей виконані наступні графічні побудови:

- просторове розподілення тріщинної та вторинної пористості на площі досліджень у вигляді 3-Д зображень, на яких показано середнє значення коефіцієнтів тріщинної та вторинної пористості на всій площі досліджень,
- карти середнього значення коефіцієнта тріщинної пористості по кожному горизонту та підгоризонту, що досліджувалися: В-19_{в1}, В-19_{в2}, В-19_{н1} (рис.3), В-19_{н2}, В-20_в, В-20_н по всій території родовища.

При аналізі проведених площадних побудов у вигляді карт розвинення тріщинної та вторинної пористості по окремих горизонтах, а також їх об'ємних 3D поверхонь автором встановлені для кожного з підгоризонтів, горизонтів та інтервалу досліджень, зокрема, зони розвитку більш перспективних колекторів, які розповсюджені по свердловинах нерівномірно. Відповідно до цього, виділяються перспективні ділянки Андріяшівської площі.

Висновки. Автором проведено дослідження структури пустотного простору порід горизонтів В-19 та В-20 десяти свердловин Андріяшівського родовища та оцінено їх перспективність.

Запропонована методика:

- дозволяє отримувати цінну інформацію при інтерпретації даних ГДС,

- дає можливість оцінювати структуру пустотного простору складнопобудованих та глибокозалягаючих порід-колекторів,

- кількісно визначає тип колектора (формат тріщин та їх концентрацію в породі),

- при площадних дослідженнях дає можливість кількісно виділити зони розвитку колекторів в однотипних породах та оцінити їх перспективність.

Загалом, за даними ГДС одновікових інтервалів 10 свердловин Андріяшівського родовища автором:

- визначени концентрації пустот розрахованих форматів;

- виділені пласти-колектори, неперспективними можна вважати 51,28 % досліджених пластів;

- оцінені типи колекторів: гранулярний, тріщинно-гранулярний, гранулярно-тріщинний та тріщинний;

- побудовані карти та 3D зображення закономірностей зміни тріщинної та вторинної пористості;

- на картах та об'ємних зображеннях виділені зони розвитку перспективних колекторів по кожному з горизонтів і підгоризонтів.

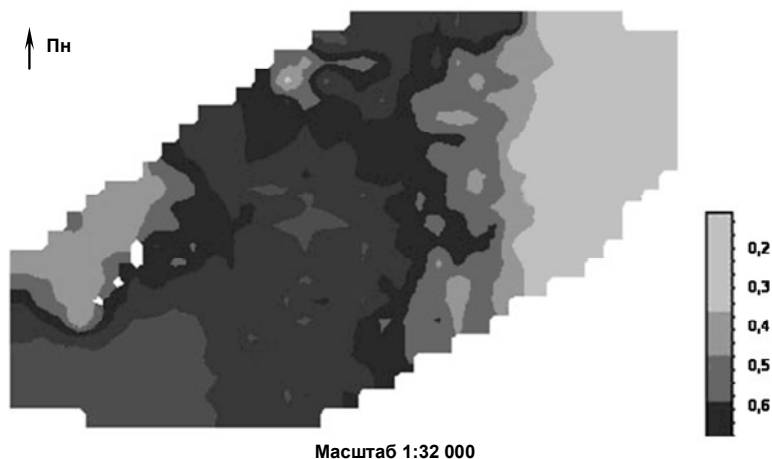


Рис. 3. Середнє значення коефіцієнта тріщинної пористості в інтервалі розвитку підгоризонта В-19h, на Андріяшівській площі ДДз

Дана методика дозволяє більш глибоко розуміти фізичну природу процесів, що виникають в складнопобудованих породах-колекторах, відкриває нові перспективи для рішення задач інтерпретації даних геофізичних досліджень свердловин, прогнозу продуктивності пластів свердловин на стадіях від оперативної обробки даних ГДС до підрахунку запасів нафти и газу.

1. Безродна І.М. Дослідження тріщинуватості складнопобудованих порід-колекторів та оцінка її впливу на фільтраційні характеристики // Вісн. Київ. ун-ту. Геологія. – 2005. – Вип. 34, С. 34-37. 2. Безродна І.М. Методика кількісної оцінки структури пустотного простору складнопобудованих порід-колекторів та прогнозу їх продуктивності за даними ГДС та петрофізики // Автореф. дис. ... канд. геол. н. – 2007. 3. Вижва С.А., Безродна І.М., Олійник О.В. Кількісна оцінка перспектив нафтогазоносності глибокозанурених відкладів теригенних порід – колекторів на основі визначення їх структури пустотного простору за даними промислової геофізики. Перспективи нафтогазоносності глибоко занурених горизонтів осадових басейнів України: 36. наук. праць. – Івано-Франківськ, 2006. 4. Косаченко В.Д. Комп'ютеризована методика побудови геологічних моделей нафтогазових родовищ у зв'язку з підрахунком запасів вуглеводнів. – Автореф. дис. ... канд. геол. наук. К., 2002. 5. Красножон М.Д. Інтегрована інтерпретація матеріалів геофізичних досліджень нафтогазових свердловин. – Автореф. дис. ... д-ра. геол. наук. К., 2002.

УДК 631.48:504.53/54

Надійшла до редколегії 01.12.09

К. Бондар, канд. геол. наук, А. Самчук, д-р хім. наук, І. Стахів, студ., І. Слободяник, студ.

НАГРОМАДЖЕННЯ МАГНІТНОГО ЗАБРУДНЕННЯ І ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ҐРУНТАХ І РОСЛИННОМУ ПОКРИВІ МІСТА КИЄВА

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол.-мінералог. наук, проф. М.І. Толстим)

Досліджена магнітна сприйнятливість ґрунтів, кори дерев і листя з території Київської міської агломерації. Виявлені значущі кореляційні зв'язки магнітної сприйнятливості ґрунтів з вмістом нікелю, свинцю, міді та цинку. Простежена тенденція до зростання магнітної сприйнятливості листя за рахунок аеротехногенних випадіння.

Magnetic susceptibility of soils, tree bark and leaves from Kyiv megalopolis was measured. Significant correlation between soil magnetic susceptibility and contents of Ni, Pb, Cu and Zn was found. The tendency for increase of magnetic susceptibility of leaves due to airborne pollution was observed.

Вступ. На фоні високих темпів індустріалізації у Світі та швидкого росту міських агломерацій проблема техногенного забруднення навколишнього середовища, в тому числі й міського, постала дуже гостро. Це змусило вчених шукати нових ефективних методів контролю екологічного стану довкілля. Серед таких методів гідне місце займає екомагнітний метод. Він ґрунтується на вимірюваннях магнітних властивостей ґрунтів, рослин, пилу і бруду [1, 2]. Зростання їх магнітної сприйнятливості (χ) спричинене

переважно дрібними твердими частинками, емітованими в повітря автотранспортом та промисловими підприємствами у складі летючої золи (fly ashes) [1, 2].

Летюча зола зазвичай містить певну кількість феримагнітних часток. Найбільш значним джерелом летючої золи є згорання природного палива, яке може містити до 10 % феримагнітних оксидів заліза [3], що виникають як кінцевий продукт високотемпературної трансформації сульфідів заліза (переважно піриту),

© Бондар К., Самчук А., Стахів І., Слободяник І., 2010

присутніх у вугіллі [4]. Утворені таким чином частки антропогенного походження мають специфічну морфологію і їх можна відрізнити від природних зерен. Магнітні тонкі частинки переважно представляють собою сфери та зерна неправильної форми, які містять різну кількість магнетиту та гематиту, залежно від типу палива і температури згорання [5].

Магнітні мінерали, які утворюються в результаті згорання автомобільного пального та стирання і обпалення металевих деталей машин, це переважно магнетит та металічне залізо з розмірами зерен 0,1 – 0,7 мкм [6]. Наразі надійно встановлено, що тверді частки в міському повітрі справляють суттєвий негативний вплив на здоров'я людини [7]. Доведений сильний позитивний кореляційний зв'язок між вмістом дрібнодисперсних (<10 мкм) твердих частинок та ризиком респіраторної та серцево-судинної захворюваності й смертності [8, 9].

Залежно від розміру зерен та атмосферних умов антропогенні феримагнетики разом з рештою атмосферних пилових часток транспортуються повітряними шляхами та відкладаються на ґрунті, накопичуючись на компонентах рослинного покриву. За певних умов магнітні параметри, залежні від концентрації феримагнетиків (такі як низькочастотна магнітна сприйнятливості) можуть виступати індикаторами рівня забрудненості атмосферними випадіннями.

Постановка завдання. В умовах міського середовища із застосуванням магнітних методів можливий ефективний моніторинг техногенного впливу підприємств різних галузей (енергетичних, гірничо-видобувних, металургійних тощо), а також автомобільного транспорту. Позитивні результати багатьох робіт спонукали нас до розробки ефективної екомагнітної технології контролю екологічного стану міста Києва.

У цьому зв'язку постало важливе завдання вивчення динаміки накопичення техногенного забруднення ґрунтами та зеленими насадженнями різних районів міста. Характерною відмінністю від стандартних досліджень є використання кори і листя дерев як поверхонь накопичення пилового забруднення повітря, яке осаджується на рослинах міста Києва. Кількість магнітного матеріалу, осадженого на деревах і будівлях, обернено пропорційна відстані від джерела забруднення. По мірі змивання старих частинок, на їх місце осаджуються нові. Таким чином, встановлюється певна рівноважна концентрація на поверхні [4]. Об'єктами екомагнітних досліджень виступають ґрунти, пил і бруд з доріг, кора і листя дерев.

Крім того, в аерозолях магнетит асоціює з важкими металами, такими як цинк, кадмій та хром [10] та з мутагенними органічними речовинами, також небезпечними для здоров'я людини. Концентрації важких металів у ґрунтах часто досягають критичних величин, які перевищують гранично допустимі концентрації шкідливих елементів і справляють негативний вплив на ріст рослин та здоров'я людини. Отже, одним з головних завдань екомагнітних досліджень є вивчення зв'язків між магнітними параметрами й вмістом важких металів. Потенційна кореляція очікується на підставі доведеного існування спільних частинок-носіїв антропогенних феримагнетиків і важких металів, які розповсюджуються повітряними шляхами від джерела до місця осадження. Більше того, показано, що деякі важкі метали (Pb, Cd, Zn, Cr) легко адсорбуються на поверхні оксидів заліза і можуть замінювати іони Fe у кристалічній гратці під час високотемпературного утворення летючої золи [11]. Аеротехногенне забруднення феромагнітними мінералами і важкими металами спостерігається, насамперед, у поверхневих ґрунтових горизонтах, що пояснюється адитивною дією органічної речовини з утворенням ме-

талоорганічних комплексів. Техногенний магнетит розглядається як джерело ізоморфно заміщених важких металів, що повільно поступають до ґрунту в ході руйнування мінералу.

Київ як об'єкт екомагнітних досліджень. Наголошено, що у Києві найбільший негативний вплив на стан атмосферного повітря і якість життя людей справляють саме ті техногенні чинники, наслідки яких ефективно діагностуються екомагнітним методом. Головним забруднювачем повітря по даним департаменту екологічного контролю Міністерства охорони навколишнього природного середовища України, є автомобілі. У Києві автомобільний транспорт дає 83,4 % усіх шкідливих викидів в атмосферу.

Перелік найбільш шкідливих підприємств по версії ru.wikipedia.org очолюють теплоелектроцентрالی ТЕЦ-5, ТЕЦ-6, Дарницька ТЕЦ та сміттєспалювальний завод "Енергія".

За даними Центральної геофізичної обсерваторії МНС України найбільш брудне повітря на Бессарабці, Московській площі, бульварі Лесі Українки, площі Перемоги і в районі станції метро "Святошин". Найбільш чисте повітря в Гідропарку, на проспекті Науки, національному комплексі "Експоцентр України". При цьому середньорічні показники по багатьом шкідливим речовинам тут коливаються від 1 до 1,5 ГДК, тобто перевищують норму. Рослинність паркових зон пропускає вихлопні гази на 100 м углиб парків.

Отже, територія Київської міської агломерації є еталонним об'єктом досліджень, спрямованих на розробку екомагнітної технології моніторингу екологічного стану міського довкілля.

Методи дослідження. Методика польових і лабораторних досліджень включала: 1) відбір зразків кори дерев і зразків ґрунтів з тесери цих дерев в різних районах міста Києва; 2) щомісячний (з квітня по жовтень) відбір листя в 10-ти пунктах вивчення динаміки забруднення; 3) дослідження магнітної сприйнятливості (k , χ) ґрунтів і рослин, частотної залежності магнітної сприйнятливості (k_{fd}) ґрунтів; 4) визначення валового вмісту важких металів-екотоксикантів (Pb, Cd, Zn, Ni, Cr, Cu) на зразках ґрунтів і рослинності та дослідження кореляційних зв'язків з χ .

Наразі з території Київської міської агломерації відібрано по 130 зразків ґрунтів і кори дерев з одних тих самих місць. Кора відбиралася "кільцем" з усіх боків стовбуру на висоті 1,2 м від землі, ґрунти відбиралися з зони пристовбурового стоку дерев. Для постановки екомагнітного моніторингу в місті були вибрані 10 пунктів у місцях з різним ступенем техногенного навантаження, в тому числі й фоновий пункт у парковій зоні Феофанія. У кожному з пунктів з квітня по жовтень у 2007 та 2008 рр. раз на місяць відбиралося листя каштану звичайного (*castanea vulgaris*).

В лабораторних умовах висушені проби кори, листя і ґрунтів вимірювалися на капамітку KLY-2 (Geofizyka, Чехія), після чого для них була обрахована мас-специфічна магнітна сприйнятливості ($\chi \cdot 10^{-8}$ м³/кг). ґрунти додатково досліджені на приладі Bartington MS2B (Великобританія), який працює на двох частотах (0,47 та 4,7 кГц) та дозволяє визначати частотну залежність магнітної сприйнятливості (k_{fd}) за наступною формулою:

$$k_{fd}(\%) = (k_{ff} - k_{hf}) / k_{ff} \cdot 100\%,$$

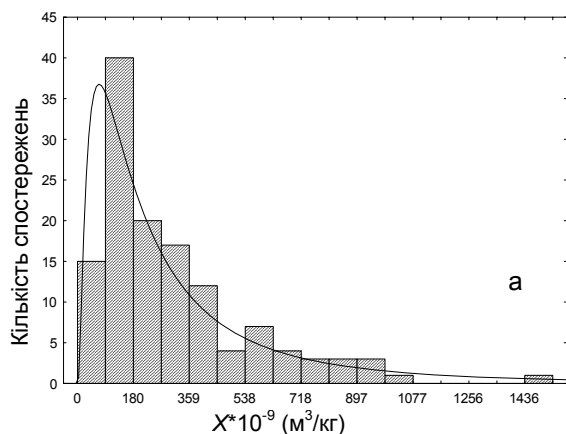
де k_{ff} та k_{hf} – відповідно низькочастотна та високочастотна магнітна сприйнятливості.

Величина k_{fd} чутлива до вмісту дрібнодисперсних суперпарамагнітних часток (розмір < 30 нм) [12], у чистих ґрунтах Лісостепу України вона складає 8...11 %, у

завдяки високому вмісту педогенних суперпарамагнетиків, у техногенно забруднених аналогах $\chi_{fd} < 2\%$ [13].

Крім того, для липневих та вересневих проб листя за 2007 р., а також для ґрунтів моніторингових пунктів визначений валовий вміст Cu, Ni, Zn, Cd, Pb. Вміст важких металів визначався в азотнокислій витяжці при наступному випаровуванні пероксиду водню. Атомно-абсорбційний аналіз проводився в полум'ї ацетеленового повітря на спектрофотометрі КАС 120 M1.

Результати дослідження. Мас-специфічна магнітна сприйнятливості є показником концентрації феримагнітних мінералів у компонентах природного середовища. У ґрунтах її створюють як первинні магнітні мінерали, успадковані від ґрунтоутворюючої породи, так і вторинні, які формуються внаслідок хімічних і бактеріологічних процесів, в результаті пожеж та діяльності магнітотактичних бактерій. Крім того, у ґрунтах мегаполісів знайдені магнітні сферули, які містяться у аеротехногенних викидах промисловості й автотранспорту [1, 2].



Саме їх концентрація найбільш правдиво відображає стан повітря в місті.

В результаті досліджень виявилося, що χ ґрунтів Києва змінюється від 7 до $260 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$, а кори дерев – в межах $3 \dots 1500 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3/\text{кг}$. Слід враховувати, що ґрунти міста часто штучні і оцінити аеротехногенну складову в їхньому магнетизмі не завжди можливо. Досліджуючи χ кори дерев міста ми уникаємо цього ускладнення, адже магнетизм рослинності практично повністю обумовлений пиловими частками, які осаджуються на її поверхні.

Розподіли χ ґрунтів і кори близькі до логарифмічно нормальних (рис. 1), що свідчить про здатність техногенних магнітних мінералів до створення великих концентрацій і про значну диференціацію χ ґрунтів і рослинності міських територій. Інакше кажучи, саме наявність техногенних феримагнетиків обумовлює статистичну поведінку χ компонентів міського природного середовища. Розподіл концентрації магнітного забруднення подібний до розподілу низькокларкових розсіяних елементів [14].

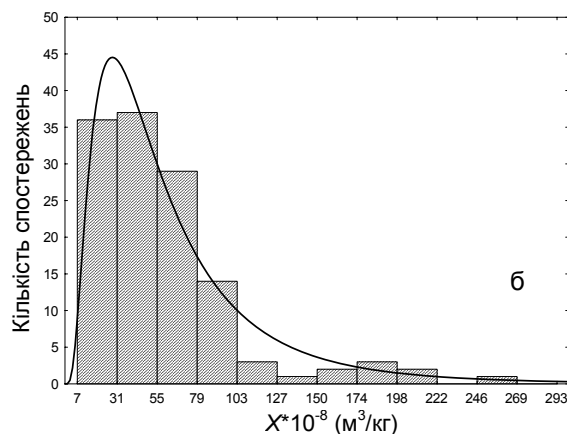


Рис. 1. Гістограми розподілу значень χ для кори (а) і ґрунтів (б)

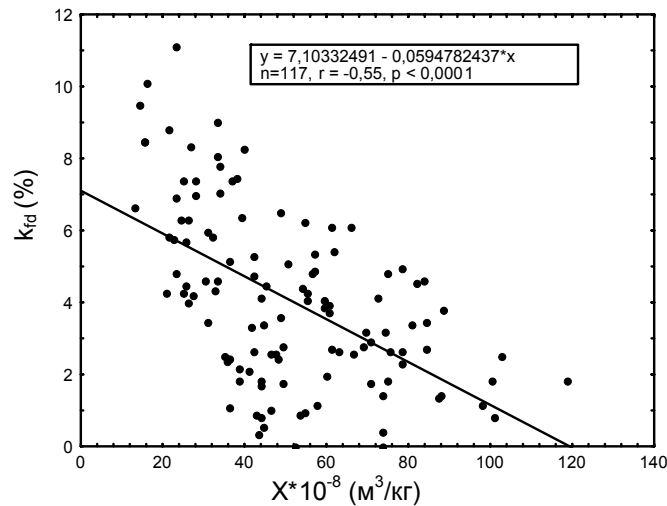
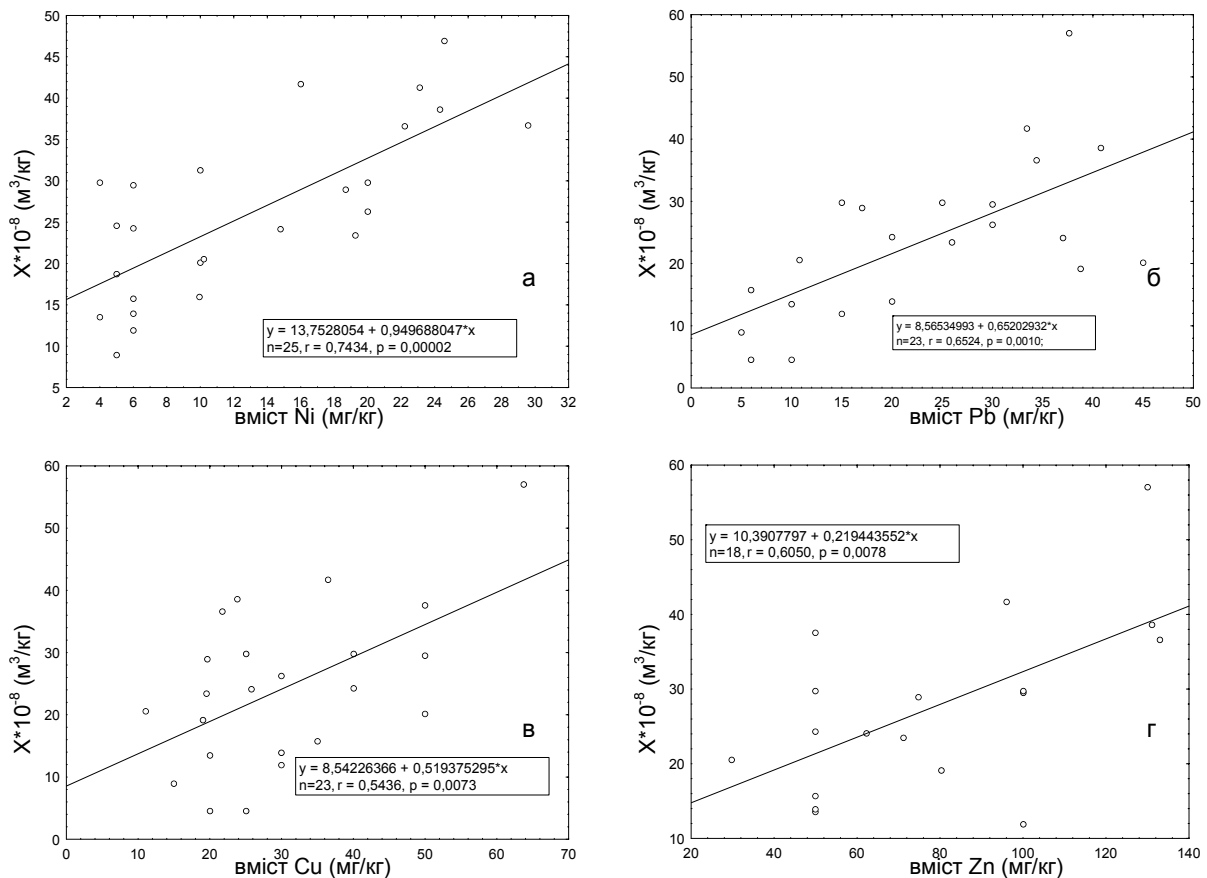
Максимальні значення χ ґрунтів і кори дерев приурочені до промислових зон і автошляхів. Мінімальні значення характерні для лісопаркових зон. На величину χ ґрунтів окрім техногенного фактора впливають також ландшафтні особливості місцевості. Ґрунти з підвищених ділянок лісових масивів (Голосіївський ліс, Національний ботанічний сад ім. М.М. Гришка) характеризуються такими ж величинами χ як і з житлових мікрорайонів, що примикають до лісових зон.

k_{fd} ґрунтів міста коливається в межах усього можливого для цієї величини діапазону, від 0 до 12 %. Цей факт свідчить про наявність в межах міста як чистих територій з природними величинами $k_{fd} \approx 8 \dots 12\%$, так і територій, де накопичення забруднення призвело до зниження k_{fd} ґрунтів. Це відбулося за рахунок збагачення ґрунтів міста більш крупними, ніж природні суперпарамагнітні, техногенними зернами магнітних мінералів.

Доказом того, що магнетизм ґрунтового покриву Київської міської агломерації в значній мірі контролюється техногенними факторами, слугує залежність, представлена на рис. 2. З аналізу виключені зразки з $\chi > 120 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$. Як бачимо, магнітна сприйнятливості ґрунтів χ знаходиться у достатньо тісному лінійному кореляційному зв'язку з частотною залежністю k_{fd} ($r = -$

0.55). Тобто, сильномагнітні, насичені аеротехногенними випадіннями, ґрунти характеризуються заниженими значеннями k_{fd} , а ґрунти, магнітність яких визначається природним оксидогенезом заліза, мають порівняно низьку магнітну сприйнятливості і високу k_{fd} .

Одним з основних завдань екомагнетизму є визначення тих металів, вміст яких корелює з макроскопічними магнітними параметрами, такими, як магнітна сприйнятливості. В майбутньому такі кореляційні зв'язки стануть підґрунтям магнітного моніторингу екологічного стану в місті. Попередніми роботами [15] методами геохімічного картування встановлені основні елементи-забруднювачі ґрунтів Києва. Це Cu, Sn, Pb, Zn, Ag, Ni, Cr, V, Co, Mo. При чому для центральної частини міста характерні підвищені концентрації Ni, V, Cr, Cu, Pb, Zn, джерелами яких, за висновками авторів [15], є аерозолі промислових підприємств, що забруднюють повітряний басейн. Нам вдалося встановити наявність надійних кореляційних зв'язків магнітної сприйнятливості з чотирма з них – Ni, Pb, Cu, Zn (рис. 3). По інших елементах ми не мали достатньої кількості достовірних аналітичних даних.

Рис. 2. Взаємозалежність χ та K_{td} ґрунтів КиєваРис. 3. Кореляційні зв'язки вмісту деяких важких металів з χ ґрунтів Києва

З метою вивчення динаміки накопичення аеротехногенного забруднення ми протягом двох років досліджували листя каштанів у період вегетації. Опробування виконувалося як у сильно забруднених пунктах, як то Петрівка, Шулявська, бульвар Лесі Українки, Московська площа, Ленінградська площа, помірно забруднених – парк Т.Г. Шевченка, метро Чернігівська, парк Слави, порівняно чистих – Феофанія, студмістечко Київського університету.

Осереднивши дані про магнітну сприйнятливості по 10 пунктах за кожен місяць 2007 і 2008 рр. ми з'ясували,

що накопичення магнітного забруднення листям міста з високим ступенем достовірності підпорядковане експоненціальному закону (рис. 4). В усіх пунктах відбору листя спостерігалось постійне зростання χ . Виключення у деяких місцях склали літні проби, які продемонстрували менші значення χ , ніж у попередньому місяці. Припускаємо, що це пов'язано із змиванням забруднення літніми дощами, найбільша кількість яких у 2007 р. спостерігалася саме у липні, а у 2008 р. – у червні.

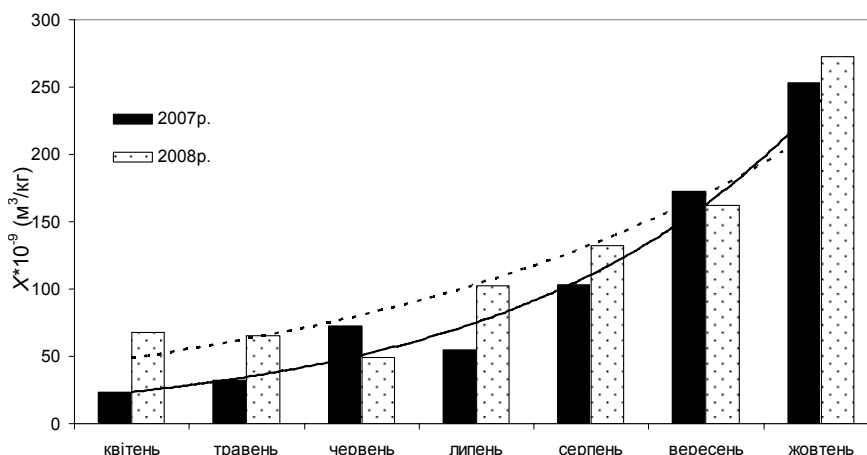


Рис. 4. Зростання χ листя каштанів Києва на протязі періоду вегетації

Спроба дослідити акумуляцію техногенних важких металів листям каштанів міста Києва у 10 пунктах за двомісячний період дала наступні результати. χ зросла в середньому в 3,4 рази. Відмічається значне зростання вмісту Zn (у 1,5 рази) та Ni (у 2,5 рази) у листі, вміст інших елементів суттєво не змінився. Отже Zn та Ni наразі найактивніше осаджуються з техногенних аерозолів.

Висновки. Магнітна сприйнятливість ґрунтів є чутливим індикатором забрудненості компонентів навколишнього середовища Київської міської агломерації. Її достатньо тісний зв'язок з частотною залежністю свідчить про переважання техногенних процесів у нагромадженні оксидів заліза у ґрунтах міста. Значуща кореляція магнітної сприйнятливості з вмістом Ni, Pb, Cu, Zn є вагомим передумовою застосування екомагнітної технології для контролю екологічного стану в місті Києві.

Екомагнітне картування доцільно проводити не по ґрунтах, а по корі дерев, адже її магнетизм практично повністю зумовлений техногенною складовою. Листя є задовільним акумулятором магнітного забруднення і дозволяє вивчати динаміку його накопичення. Важливо, що магнітна сприйнятливість зразків кори, як і зразків листя, може успішно вимірюватися доступними комерційними приладами.

Визначення важких металів частково виконані доц. Ю.М. Дмитруком (Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича).

Дослідження проведено в рамках комплексної наукової програми "Надра", тема 06БФ049-02.

1. Evans M. E., Heller F. Environmental magnetism. Principles and Applications of Enviromagnetism. – International Geophysics series, v. 86, Elsevier science (USA), 2003. – 299 .2. Petrovský E. and Ellwood B.B.,

1999. Magnetic monitoring of air-, land- and water pollution. In: Maher B.A. and Thopson R. (Eds.), Quaternary Climates, Environments and Magnetism. Cambridge University Press, Cambridge, 279–322. 3. Kapicka A., Jordanova N., Petrovský E. and Ustjak S., 2000. Magnetic stability of power-plant fly ash in different soil solutions. Phys. Chem. Earth (A), 25, 431–436. 4. Flanders, P. J. Collection, measurement and analysis of airborne magnetic particulates from pollution in the environment. Journal of Applied Physics 75, 5931–5936, 1994. 5. Matzka, J., & Maher, B. A. (1999). Magnetic biomonitoring of roadside tree leaves, identification of spatial and temporal variations in vehicle-derived particulates. Atmospheric Environment, 33, 4565–4569. 6. Muxworthy, A., Schmidbauer, E., & Petersen, N. (2002). Magnetic properties and Mossbauer spectra of urban atmospheric particulate matter, a case study from Munich, Germany. Geophysical Journal International, 150, 558–570. 7. Pope, III, C. A., Burnett, R. T., Thun, M. J., Calle, E. E., Krewski, D., Ito, K., et al. (2002). Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. Journal of the American Medical Association, 287, 1132–1141. 8. Harrison, R. M., & Yin, J. (2000). Particulate matter in the atmosphere: Which particle properties are important for its effects on health. The Science of the Total Environment, 249, 85–101. 9. Wichmann, H. E., & Peters, A. (2000). Epidemiological evidence of the effects of ultra fine particle exposure. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, A358, 2751–2769. 10. Georgeaud, V. M., Rochette, P., Ambrosi, J. P., Vandamme, D., & Williamson, D. (1997). Relationship between heavy metals and magnetic properties in a large polluted catchments, the Etang de Berre (South France). Physics and Chemistry of the Earth, 22(1–2), 211–214. 11. Strzyszczyk Z., Magiera T. and Heller F., 1996. The influence of industrial immissions on the magnetic susceptibility of soils in Upper Silesia. Stud. Geophys. Geod., 40, 276–286. 12. Bloemendal J., Barton CE, Radhakrishnamurthy C (1985) Correlation between Rayleigh loops and frequency dependent and quadrature susceptibility: applications to magnetic granulometry of rocks. Geophys Res 90:8789–8792. 13. Dearing JA (1999) Environmental magnetic susceptibility using the Bartington MS2 System. Chi Publishing, Kenilworth, p 54. 14. Гладышева М.А., Иванов А.В., Строганова М.Н. Выявление ареалов техногенно-загрязненных почв Москвы по их магнитной восприимчивости // Почвоведение, 2007, №2, с.235–242. 15. Зарицкий А.И., Лысяный Н.Н., Абрамис А.А. и др. Геохимические аспекты состояния геологической среды Киевской промышленно-городской агломерации // Геол. журн. – 1991. №2. – с.34–42.

Надійшла до редколегії 27.12.09

ГЕОІНФОРМАТИКА

УДК 550.832

С. Вижва, д-р геол. наук, С. Дейнеко, канд. геол. наук, О. Асташкіна, асп.

ЗАСТОСУВАННЯ РАДІОАКТИВНИХ МЕТОДІВ В СИСТЕМІ
ГІДРОГЕОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ТЕХНОГЕННО-НАВАНТАЖЕНИХ ТЕРИТОРІЙ

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

Розглядається досвід застосування радіоактивних досліджень для визначення гідрогеологічних параметрів ґрунтів. Обґрунтовано можливість застосування коефіцієнту водонасичення, що отриманий за даними густинного гамма-гамма каротажу та надтеплого нейтрон-нейтронного каротажу, для визначення глибини залягання рівня ґрунтових вод.

Experience of application of radioactive researches for definition hydro-geological soils parameters is considered. Possibility application degree of saturation, which received by the gamma-gamma density logging and neutron-neutron overthermal logging data, for depth definition ground waters level is proved.

Однією із найбільш актуальних геофізичних задач на сьогодні є проблема моніторингу геологічного середовища з метою запобігання негативних змін, що можуть призвести до природно – техногенних катастроф. Для територій міської та промислової забудови характерними є техногенний вплив на геологічне середовище та режим підземних вод. На цих територіях вивчення та моніторинг режиму підземних вод є обов'язковим в силу впливу техногенних факторів на стан підземної гідросфери, значних ризиків розвитку небезпечних геологічних процесів. Спостереження за режимом підземних вод починаються на стадії вишукувань під будівництво (природний режим) і повинні тривати надалі, вже як моніторингові дослідження з метою визначення впливу різноманітних штучних факторів (витоків з різних трубопроводних систем, скидання стічних вод, навантаження фундаментів будівель та споруд, дії дренажів, регулювання поверхневого стоку та ін.) [2].

Як показують дослідження в роботах [4, 6], кількість спостережних гідрогеологічних свердловин, особливо на територіях міст та територіях розташування потенційно небезпечних об'єктів, є недостатньою для контролю за режимом підземних вод. У зв'язку з цим актуальними є дослідження, що дозволяють отримувати таку інформацію на основі обробки і інтерпретації результатів робіт, що проводились для інших цілей – зокрема, геофізичних досліджень, що виконувались з метою визначення інженерно-геологічних характеристик ґрунтів, які необхідні для забезпечення проектування для будівництва цивільних та промислових об'єктів.

Найбільш поширеними класичними геофізичними методами, що використовуються при побудові карт гідрогеологічних параметрів, є сейсмічні та електричні методи, можливість використання яких для задач гідрогеології ґрунтується на суттєвому контрасті швидкостей повздовжніх хвиль і питомого електричного опору (ПЕО) в сухих та повністю водонасичених ґрунтах [5]. Однак ефективність таких досліджень значно понижуються на промислово навантажених територіях у зв'язку зі значним рівнем промислових завад та неможливістю, в більшості випадків, дотримання методики польових геофізичних досліджень.

В той же час на територіях багатьох населених пунктів проводяться радіоактивні дослідження, які стійкі до високого рівня промислових завад. Завданням цих досліджень є визначення густини та вологості ґрунтів – характеристик, які згідно до вимог нормативних документів України мають бути надані для проектування і будівництва цивільних та промислових об'єктів.

Радіоактивні методи використовують здатність ґрунтів по різному розсіювати та послаблювати іонізуюче випромінювання. Головними параметрами, що впливають на процеси розсіювання і послаблення, є густина та вологість ґрунту.

Для визначення густини ґрунтів застосовується густинний гамма-гамма каротаж (ГГГК), в комплексі з гамма каротажем (ГК), при цьому використовується функціональна залежність між густиною середовища і послабленням гамма-випромінювання в середовищі. Джерело жорстких гамма-квантів є Cs^{137} з енергією гамма-квантів 0,66 MeV.

Для визначення вологості ґрунтів застосовується надтепловий нейтрон-нейтронний метод (НННМ). Використовується функціональна залежність між вмістом водню в середовищі, що залежить від вологості, і щільністю потоку теплових нейтронів, що реєструються. Використовується плутон берилієве джерело нейтронів, з середньою енергією нейтронів 4,5 MeV.

Методи радіоактивного каротажу вологості полягають у вивченні через свердловини її просторового розподілу у товщі ґрунтів. Це також практично єдині методи абсолютних вимірювань вологості ґрунтів безпосередньо у масиві їх залягання, тобто без підняття керна.

Методи забезпечують достатню точність вимірювань, вони не трудомісткі, високооперативні, до того ж дозволяють практично повністю механізувати весь вимірювальний процес.

Вхідними даними для розрахунку густини ґрунту (ρ) і об'ємної вологості ($w_{об}$) є матеріали польових вимірювань і тарировочні криві приладів. Оскільки між характеристиками властивостей ґрунтів існує функціональний зв'язок, то за цими двома параметрами визначаються розрахункові показники густини сухого ґрунту (ρ_d) і вагова вологість (w). Також можливо обчислити коефіцієнт пористості (e) і коефіцієнт водонасичення (S_r) [1].

S_r – ступінь заповнення об'єму пор водою. Визначається за формулою:

$$S_r = \frac{W\rho_s}{e\rho_w}$$

де W – природна (вагова) вологість ґрунту, д.о.; ρ_s – густина часток ґрунту, г/см³; ρ_w – густина води, що приймається до 1 г/см³; e – коефіцієнт пористості, який розраховується за формулою [1]:

$$e = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d}$$

Коефіцієнт водонасичення S_r виражають в долях одиниці, в залежності від його значення ґрунти поділя-

ють на слабовологі (0-0,5), вологі (0,5-0,8), та насичені (0,8-1,0). Спираючись на наведену класифікацію в розрізі свердловин можна виділити границю водонасичених ґрунтів (яка характеризується значенням $Sr > 0,8$), а отже – рівень підземних вод.

Отже, інтерпретуючи дані радіоактивних методів, можна отримати додаткові дані про рівень ґрунтових вод (РГВ) та інші інженерно-геологічні умови.

Унікальним полігоном з точки зору перевірки можливостей застосування геофізичних методів для вирішення гідрогеологічних і інженерних задач є проммайданчик атомних електростанцій, на території яких протягом багатьох років проводяться комплексні режимні спостереження за станом геологічного середовища.

Так, на території Рівненської атомної електростанції (РАЕС) діє сітка режимних гідрогеологічних свердловин для різних водонасичених горизонтів, зокрема, більш ніж 140 свердловин, за допомогою яких контролюється РГВ [3].

Крім цього, по периметру основних споруд розташована мережа, яка включає понад 200 спостережних геофізичних свердловин, що контролює стан крейдової товщі та покриваючих її дисперсних ґрунтів.

Проммайданчик РАЕС характеризується складними інженерно-геологічними умовами в зв'язку з наявністю в

геологічному розрізі карстуючих крейдових порід, та при певних обставинах – можливість активізації суфозійно-карстових процесів, що в основному пов'язані з порушенням хімічного складу та природного режиму підземних вод.

Отже, в умовах РАЕС гідрогеологічний моніторинг розглядається не лише як система спостережень за підземними водами, а також як елемент карстологічного моніторингу. Карстологічні спостереження, гідрогеологічні спостереження, геофізичний моніторинг (спостереження за станом ґрунтів) на території РАЕС здійснює ДП КІВД "Енергопроект".

Авторами було проаналізовано матеріали радіоактивних досліджень ґрунтів по 30 свердловинах, які розташовані на території проммайданчика РАЕС за період з 1984 по 2008 роки. На основі аналізу отриманого коефіцієнту водонасичення Sr , по кожній з 30 свердловин, проводилось визначення глибини залягання рівня ґрунтових вод для кожної свердловини. Приклад таких розрахунків по одній із свердловин наведено на рис. 1, де РГВ, відбитий за гідрогеологічними даними, співпадає з РГВ, який можна виділити за коефіцієнтом водонасичення.

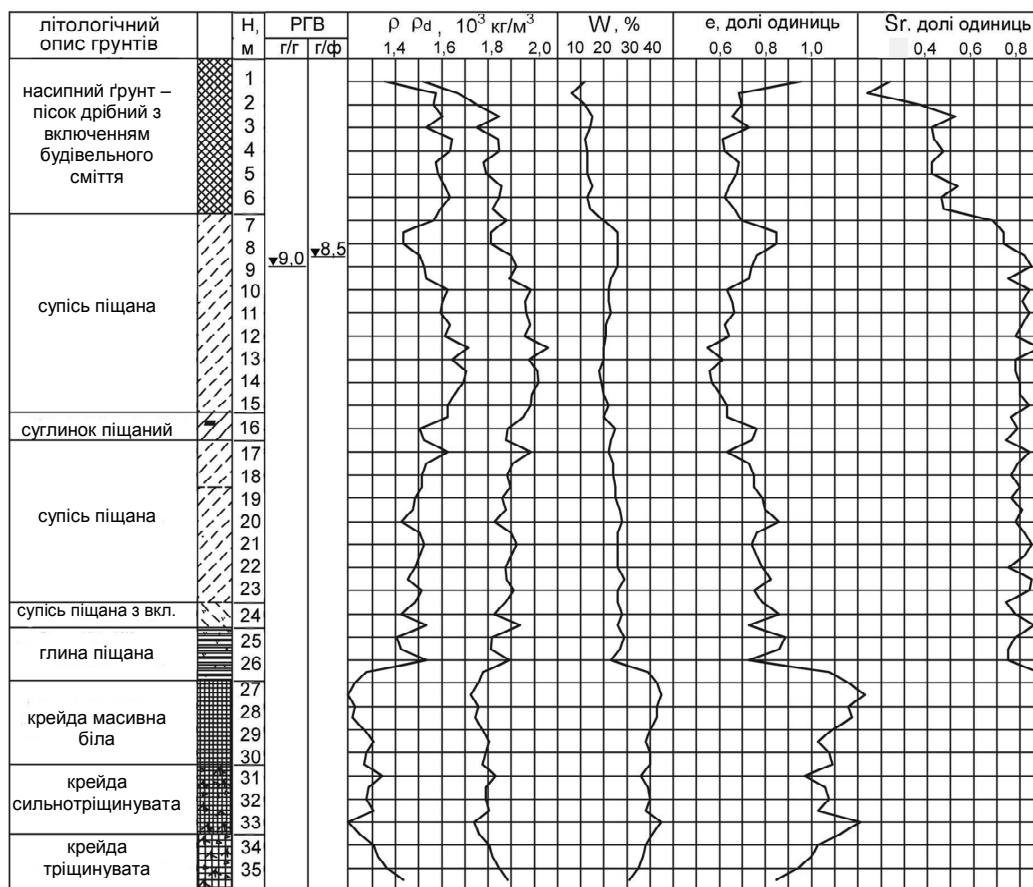


Рис 1. Відбиття рівня ґрунтових вод по свердловині № 72 за даними радіоактивних досліджень і гідрогеологічних спостережень (2008 рік)

Отриманий масив даних про положення РГВ було осереднено для всіх свердловин в межах певного року. На основі цих матеріалів побудований графік, що ілюструє динаміку зміни рівня ґрунтових вод у часі за даними геофізичного моніторингу (рис. 2).

Співставлення отриманого графіка з даними матеріалів режимних гідрогеологічних спостережень дає змогу

стверджувати, що радіоізотопні дослідження можуть бути успішно використані при вирішенні задачі визначення рівня підземних вод. На їх основі можливо проводити моніторинг РГВ на територіях розташування промислових та цивільних об'єктів.

Радіоактивні методи досліджень широко використовуються для визначення густини та вологості:

– насипних ґрунтів при підготовці майданчиків під будівництво (для отримання дозволів на монтування висотних кранів);

– ґрунтів в природному заляганні для проектуванні фундаментів споруд; визначення сейсмічної жорсткості ґрунтів при сейсмічному мікрорайонуванні;

– при інженерно-геологічних роботах в системах моніторингу за станом геологічних середовищ та пром-майданчиків АЕС.

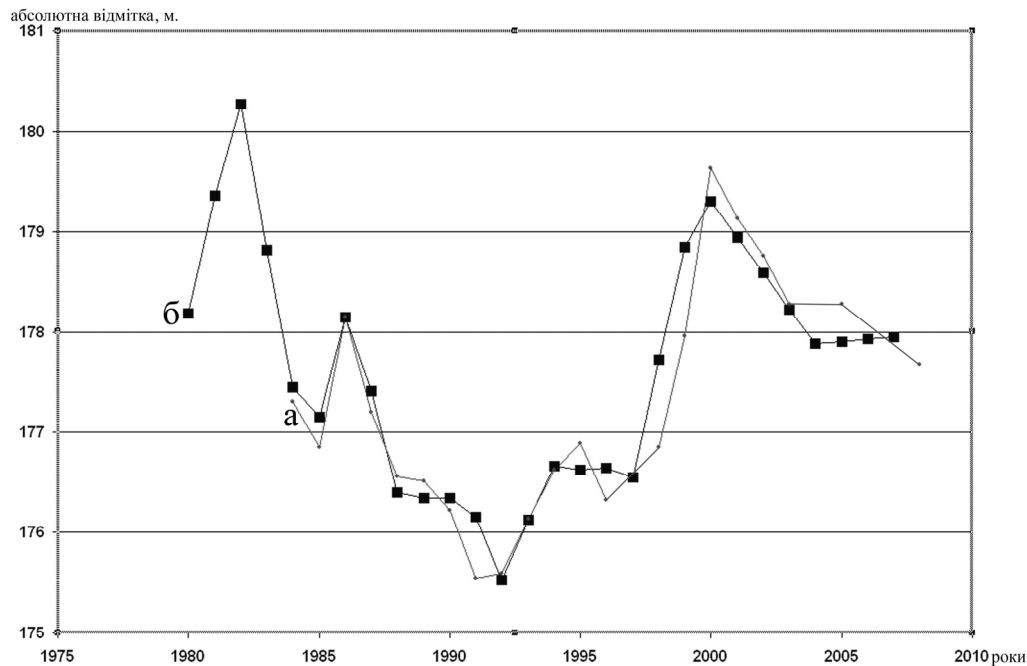


Рис. 2. Графік зміни абсолютної відмітки рівня ґрунтових вод за роками:
а – за матеріалами радіоактивних досліджень; б – за матеріалами гідрогеологічних спостережень

Радіоактивні дослідження в комплексі методів по вивченню характеристик ґрунтів займають провідне місце. Це обумовлено тим, що вони дозволяють отримати інформацію про стан ґрунтів в природному заляганні на різних глибинах геологічного розрізу. Необхідно відзначити, що це особливо важливо при інженерно-геологічних вишукуваннях, так як відбір зразків ґрунтів з відповідних глибин досить часто є проблематичним, особливо якщо ґрунти незв'язні.

Отже, як показують приведені вище результати успішного використання матеріалів радіоактивних досліджень для визначення гідрогеологічних характеристик і в зв'язку з тим, що обсяг цих робіт є досить значним на стадії вишукувань, логічним виглядає використання даних радіоактивних методів для контролю РГВ та моніторингу за процесами підтоплення ґрунтів.

1. ГОСТ 23061-90 "Грунты. Методы радиоизотопных измерений плотности и влажности" 2. Інструкція з проведення моніторингу підземної гідросфери та інженерно-вишукувальних робіт у зв'язку із підтопленням територій міст та селищ України. 3. Комплексная программа мониторинга геологической среды и природно-техногенной системы РАЭС – геологическая среда. ГП КИИЗИ ЭП, 2003. 4. Кошляков О.Е., Диняк О.В. Вивчення процесу підтоплення території долин малих річок м. Києва із застосуванням геоінформаційних технологій / Зб. матер. Міжн. наук.-практ. конф. "Перший Всеукраїнський з'їзд екологів. (ECOLOGY-2006)". 5. Цюпа І.В., Демідов В.К., Заславська О.В. Оцінка методів побудови карт рівнів ґрунтових вод на прикладі мікрорайону Позняки в місті Києві // Вісн. Київ. ун-ту. Сер. Геологія. 2008. – №45. – С.59–62. 6. Овчинников В.И., Монахов В.В., Урусова А.В., Клепикова С.М. (ООО "НПЦ ГЕОТЕХ"). Особенности применения геофизических методов при решении гидрогеологических задач /info@geotech.ru

Надійшла до редколегії 15.11.09

ОЦІНКА СТАНУ ПІДТОПЛЕННЯ ЗА ДАНИМИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ МЕТОДОМ БАГАТОВИМІРНОЇ СТАТИСТИЧНОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ НА ОСНОВІ МОДЕЛІ КОМПОЗИЦІЙНИХ РОЗПОДІЛІВ

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

У статті описано результати експерименту з інтерпретації даних супутникового зондування територій, що знають підтоплення. Запропоновано нову модель для опису статистичного розподілу даних у вигляді композиції локальних розподілів. Для оцінки належності об'єктів до класів використано Бейєсівський критерій. Проведено оцінку спроможності методу шляхом тестування 600 об'єктів. Аналіз помилок класифікації показав високий рівень надійності інтерпретації в умовах нечіткої диференціації розподілів і достатньо великої кількості класів. Метод має перспективу застосування в системах моніторингу стану територій як засіб оперативної оцінки стану підтоплення.

This article is considered with outcome of experiments of remote sensing data interpretation. It is suggested new "compositional model" for describing statistical distribution data. This method was trained for estimation its efficiency. Results show reliable level of interpretation data. Therefore this approach has perspective to use in underflooding monitoring.

Вступ. Зважаючи на зростаючі обсяги дистанційних досліджень Землі, задача підвищення якості інтерпретації результатів супутникової зйомки для оперативної оцінки стану територій стає все більш актуальною. У повній мірі це стосується стану підтоплення. Ведеться дискусія з приводу ефективності тих чи інших моделей та алгоритмів класифікації, переважна більшість яких носить виражений емпіричний характер [3, с. 20-269]. Автори виходять з того, що резерв підвищення якості інтерпретації слід шукати в двох основних напрямках: 1) удосконалення та уніфікація моделей статистичного розподілу показників, по яких здійснюється інтерпретація; 2) реалізація таких моделей у алгоритмах, які забезпечують мінімум помилок класифікації.

Автори дотримуються тієї точки зору, що останню умову може забезпечити лише алгоритми, які побудовані за Бейєсовським принципом [1, с. 391-395; 3, с. 20-45], оскільки саме цей принцип теоретично забезпечує оптимальність в розумінні мінімуму помилок класифікації. Проте потенціал методу обмежується рівнем адекватності моделі багатовимірного розподілу показників яскравості по окремих каналах. Застосування класичного гаусівського закону багатовимірного розподілу до класів об'єктів виглядає штучним і, як показали наші дослідження, пересічно неадекватним у практиці інтерпретації. Такого недоліку позбавлена модель композиції локальних багатовимірних розподілів [2, с. 179-242].

Постановка задачі. Космічний знімок являє собою матрицю, кожний елемент якої (піксел, у подальшому – об'єкт) характеризується вектором ознак $\mathbf{G}_{ij} = \{G_1, G_2, \dots, G_r\}_{ij}$.

Компонентами вектора $\mathbf{G}$ є значення інтенсивності відбитої або випроміненої енергії, зареєстрованої в r спектральних каналах. Кількість r компонент цього вектора визначається кількістю дискретних каналів, у яких проводиться зйомка; i, j – умовні координати пікселя на знімку.

Необхідно провести класифікацію космічного знімку на визначену еталонами кількість класів. Для порівняння проводилося тестування різних методів класифікації на еталонних ділянках.

Метод параметричної класифікації при гіпотезі незалежності ознак.

Позначимо:

$G_1, G_2, \dots, G_r$ – ознаки, обрані для розв'язання задачі класифікації на класи $Q_1, Q_2, \dots, Q_t$;

Y – об'єкт, що підлягає класифікації;

$Y = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_r\}$; Y_k – стан ознаки G_k об'єкта Y ;

t – кількість класів;

r – кількість ознак, за якими розв'язується задача класифікації.

Результат класифікації визначається порівнянням значень двокомпонентної міри належності пред'явленого об'єкта Y до кожного з класів. Першою компонентою є кількість $L(j)$ тих ознак, по яких об'єкт класифікації (Y) знаходиться у стані, який у відповідному класі (Q_j) має нульову ймовірність, якщо ознака не є статистичною (тобто номінальною) або щільність розподілу дорівнює нулю (якщо ознака статистична). Отже, $L(j)$ є мірою чужорідності об'єкта по відношенню до класу Q_j . Другою компонентою служить бейєсівська ймовірність $P(Y \in Q_j)$ належності об'єкта Y до класу Q_j . В даному разі номінальні ознаки були відсутні. Ця ймовірність обчислюється за формулою:

$$P(Y \in Q_j) = P_j / \sum_{k=1}^t P_k, \quad (1)$$

де

$$P_j = \begin{cases} \prod_{k \in E(j)} P_{jk}(y_k), & \text{якщо } L(j) = L_{\min}, \\ 0, & \text{якщо } L(j) > L_{\min}, \end{cases} \quad (2)$$

$E(j)$ – множина номерів тих ознак серед $G_1, G_2, \dots, G_r$, для яких $P_{jk}(y_k)$ не дорівнює нулю (вираз $P_{jk}(y_k)$ див. нижче);

$$L_{\min} = \min\{L(1), L(2), \dots, L(t)\}. \quad (3)$$

Критерій класифікації складається з таких кроків. Спочатку визначають $L_{\min}$ – найменшу з величин $L(1), L(2), \dots, L(t)$ та встановлюють ті номери $j_1, j_2, \dots, j_m$, при яких $L(j) = L_{\min}$. Для класів, номери яких не входять до цього списку, покладають $P_j = 0$, а решту значень P_j обчислюють за формулою (2). Клас, до якого слід віднести об'єкт класифікації, визначають за найбільшою з бейєсівських ймовірностей (1).

Якщо ознака G_k статистична, то її станом y_k у об'єкта Y буде локальний розподіл, що описується трійкою значень $(m_{y_k}, \sigma_{y_k}, u_{y_k})$: m_{y_k} – математичне сподівання ознаки G_k об'єкта Y ; σ_{y_k} – її середній квадратичний відхил; u_{y_k} – укажчик закону розподілу (-1 – нормальний; -2 – логнормальний). Згідно з цим

$$P_{jk}(y_k) = \nu_k \cdot \int_R p_{yk}(x) p_{jk}(x) dx, \quad (4)$$

де $p_{jk}(x)$ – щільність розподілу ознаки у класі Q_j , яка розраховується за формулою

$$p_{jk}(x) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_{jk}} \cdot \exp\left(-\frac{(x - m_{jk})^2}{2\sigma_{jk}^2}\right), & \text{якщо } u_{jk} = -1 \\ \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \delta_{jk} x} \cdot \exp\left(-\frac{(\ln x - \mu_{jk})^2}{2\delta_{jk}^2}\right), & \text{якщо } u_{jk} = -2 \end{cases} \quad (5)$$

$p_{yk}(x)$ – щільність розподілу тієї ж ознаки у об'єкта Y , для обчислення якої використовується формула (5) із заміною j на y .

Тут μ_{jk} та δ_{jk} – математичне сподівання та середній квадратичний відхил величини $\ln G$ для вказаного об'єкта, значення яких обчислюються за формулами:

$$\delta_{jk} = \sqrt{\ln\left(\left(\sigma_{jk}/m_{jk}\right)^2 + 1\right)}, \quad \mu_{jk} = \ln m_{jk} - 0.5\delta_{jk}^2; \quad (6)$$

ν_k – довжина області Ω_k на числовій вісі, утвореної об'єднанням інтервалів $[a(j, k), b(j, k)]$ ($j = 1, 2, \dots, N$):

$$\Omega_k = \bigcup_{j=1}^N [a(j, k), b(j, k)], \quad (7)$$

$a(j, k) = m_{jk} - K_d \sigma_{jk}$, $b(j, k) = m_{jk} + K_d \sigma_{jk}$ – границі ознаки G_k того ж об'єкта; за умовчанням коефіцієнт інтервалу щільності розподілу $K_d = 3$, що відповідає довірчій ймовірності інтервалу $q = 0.997$.

Метод непараметричної класифікації для залежних та незалежних ознак. Наведений нижче алгоритм об'єднує найвищу ефективність з трьох причин. Першою є оптимальність критерію Бейеса, який тут реалізовано. Друга – у вживанні толерантної композиційної моделі багатовимірного розподілу, яку обходять традиційні труднощі параметричної класифікації за статистично залежними компонентами. Третя – працездатність в умовах браку інформації, навіть тоді, коли для класичного бейєсівського критерію виникає ситуація невизначеності через потрапляння значень окремих компонент у множину нульової ймовірності для всіх класів.

Так само, як і в попередньому алгоритмі, результат класифікації визначається порівнянням значень двокомпонентної міри належності пред'явленого об'єкта Y до кожного з класів. Першою компонентою є кількість $L(j)$ тих ознак, по яких об'єкт класифікації (Y) знаходиться у стані, який у відповідному класі (Q_j) має нульову ймовірність. $L(j)$ служить мірою чужорідності об'єкту по відношенню до класу Q_j . Другою компонентою служить бейєсівська ймовірність $P(Y \in Q_j)$ належності об'єкта Y до класу Q_j . Ця ймовірність обчислюється за формулою:

$$P(Y \in Q_j) = P_j(y) / \sum_{i=1}^t P_i(y), \quad (8)$$

де

$$P_i(y) = \sum_{j=1}^{b(i)} P_j^{(i)} / b(i) - \quad (9)$$

умовна ймовірність g -вимірного стану y у класі Q_j ;

$b(i)$ – кількість об'єктів-еталонів у класі Q_j ;

$$P_j^{(i)} = \begin{cases} \prod_{k \in E(i, j)} P_{jk}^{(i)}, & \text{якщо } L^{(i)}(j) = L_{\min}^{(i)} \\ 0, & \text{якщо } L^{(i)}(j) > L_{\min}^{(i)} \end{cases}, \quad (10)$$

$L^{(i)}(j)$ – кількість тих ознак, для яких $P_{jk}^{(i)}(y_k)$ дорівнює нулю;

$$L_{\min}^{(i)} = \min\{L^{(i)}(1), L^{(i)}(j), \dots, L^{(i)}(b(i))\}, \quad (11)$$

де $E(i, j)$ – множина номерів тих ознак серед $G_1, G_2, \dots, G_r$, для яких $P_{jk}^{(i)}(y_k^{(i)})$ не дорівнює нулю (вираз $P_{jk}(y_k)$ для j -го об'єкта з i -го класу Q_i див. нижче);

$$L(i) = L_{\min}^{(i)} \quad (12)$$

$P_{jk}^{(i)}(y_k)$ – ймовірність стану y_k ознаки G_k у j -го еталонного об'єкта з класу Q_i . Якщо ознака нестатистична, і її стан у заданого об'єкта y_k , то ймовірність стану дорівнює 1. Якщо стан її інший, то ймовірність стану дорівнює 0. Вираз ймовірності стану для статистичної ознаки має вигляд:

$$P_{jk}^{(i)}(y_j) = \int_R p_{yk}(x) p_{jk}^{(i)}(x) dx, \quad (13)$$

де $p_{jk}^{(i)}(x)$ – щільність розподілу ознаки G_k у j -го еталонного об'єкта з класу Q_i ; $p_{yk}(x)$ – щільність розподілу ознаки G_k в стані y_k . Якщо $p_{jk}^{(i)}(x)$ невідома через відсутність інформації, то

$$P_{jk}^{(i)}(y_j) = 1/\nu_k. \quad (14)$$

Висновок про внутрішню належність до класу Q_i , якому відповідає найбільша ймовірність належності (10), робиться при $L(i) = 0$. В протилежному разі належність зовнішня.

Результати експериментальної оцінки ефективності методу. Для практичної оцінки був використаний знімок, зроблений 21 серпня 2000 р. спектрорадіометром "ETM+" із супутника "Landsat-7". У якості ознак було використано знімки, зроблені на різних спектральних каналах – пп10 (0.45-0.52 мкм), пп20 (0.52-0.60 мкм), пп30 (0.63-0.69 мкм), пп40 (0.76-0.9 мкм), пп50 (1.55-1.75 мкм), пп70 (2.08-2.35 мкм), пп61 (10.4-12.5 мкм), пп62 (10.4-12.5 мкм).

На космоснімку виділено еталонну область, в межах якої проведено тематичне районування на 8 класів: 1) "не задернована підтоплена поверхня", 2) "відкрита водна поверхня", 3) "сівозміна-1 не підтоплена", 4) "сівозміна-1 підтоплена", 5) "сівозміна-2 не підтоплена", 6) "сівозміна-2 підтоплена", 7) "урбанізована територія", 8) "не задернована суха поверхня". Термінами "сі-

возміна-1" і "сівозіміна-2" позначені два класи відбиваючих поверхонь, що фізично представлені сільськогосподарськими угіддями, засадженими зерновими та незерновими культурами відповідно. До експерименту залучено 600 об'єктів, по 75 з кожного класу.

За наведеними вище алгоритмами проводилася тестова класифікація. Результати параметричної класифікації подані у табл.1, непараметричної – у табл. 2.

Таблиця 1. Результати тестової параметричної класифікації

Клас, до якого віднесено об'єкт	Частота належності об'єктів до класів							
	Клас №1	Клас №2	Клас №3	Клас №4	Клас №5	Клас №6	Клас №7	Клас №8
1	0.800	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.027	0.000
2	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.067	0.073
4	0.080	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.307	0.000
5	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
6	0.080	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.107	0.000
7	0.040	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.480	0.000
8	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.013	0.927

Таблиця 2. Результати тестової непараметричної класифікації

Клас, до якого віднесено об'єкт	Частота належності об'єктів до класів							
	Клас №1	Клас №2	Клас №3	Клас №4	Клас №5	Клас №6	Клас №7	Клас №8
1	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.073
4	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.107	0.000
5	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.027	0.000
7	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.867	0.000
8	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.013	0.927

Результати тестової класифікації показали:

1. Помітну перевагу методу непараметричної класифікації, побудованому на композиційній моделі еталонних розподілів.

2. Високу достовірність інтерпретації по всіх класах за винятком 7-го класу – урбанізовані території. Зниження достовірності саме по цьому класу викликане тим, що він складно побудований і містить у собі різні види відбиваючих поверхонь (табл. 3).

Таблиця 3. Класифікація об'єктів класу "урбанізовані території" на інші еталонні класи

Параметрична класифікація		Непараметрична класифікація	
Клас, до якого віднесено об'єкт	Частота належності	Клас, до якого віднесено об'єкт	Частота належності
1	0.200	1	0.133
2	0.000	2	0.000
3	0.067	3	0.053
4	0.560	4	0.530
5	0.000	5	0.000
6	0.147	6	0.213
8	0.027	8	0.067

Висновок. Модель композиції багатовимірною розподілу показників яскравості по каналах супутникової зйомки забезпечує більш ніж задовільну якість інтерпретації при оцінці ступеня підтоплення територій в разі застосування цієї моделі в алгоритмі класифікації, побудованому за принципом Бейеса. За результатами проведеного експерименту зі знімком, зробленим спектро радіометром "ETM+" із супутника "Landsat-7", по 6 класах оці-

нка ймовірності помилки становила 0, по класу "урбанізовані території" – 0.13, по класу "незадернована суха поверхня" – 0.07. Середня ймовірність помилки – 0.025.

1. Жуков М. Н. Математична статистика та обробка геологічних даних: підручник. – К., 2008. 2. Жуков Н. Н. Вероятностно-статистические методы анализа геолого-геофизической информации. – К., 1975. 3. Р. Дуда, П. Харт. Распознавание образов и анализ сцен. – М., 1976.

Надійшла до редколегії 25.12.09

УДК 528.88:(528.85:004)

О. Азімов, д-р геол. наук

ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ У КОНЦЕПЦІЇ СТВОРЕННЯ УЗАГАЛЬНЕНОЇ СХЕМИ ОБРОБКИ/ІНТЕРПРЕТАЦІЇ ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

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

У статті охарактеризована розроблена концептуальна узагальнена технологічна модульна схема перетворення, дешифрування і геологічної інтерпретації даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) у комплексі з матеріалами геолого-геофізичних робіт на основі застосування геоінформаційних технологій.

The designed conceptual generic modular flowchart of transformation, decoding and geologic interpretation of remote sensing data in the complex with geological and geophysical data is characterised. The flowchart is based on geoinformation technologies application.

Актуальність і постановка задачі. Класична методика використання даних ДЗЗ під час геологорозвідувальних робіт (ГРР) [2, 4, 5, 9 та ін.] традиційно передбачала таку технологічну послідовність: збір необхідних архівних і замовлених матеріалів аерокосмічних зйомок (МАКЗ); проблемно орієнтований аналіз і обробка МАКЗ, результатом яких є створення дистанційної основи (ДО) тієї чи іншої геологічної карти; тематичне дешифрування ДО; інтерпретація схем дешифрування; складання тематичних карт і схем з легендами або умовними позначеннями; подання й зберігання вказаних карт і схем. При цьому чинник впровадження комп'ютерних технологій обробки/інтерпретації даних мав незначний рівень. В останній час з широким розвитком геоінформатики – науки, технології й виробничої діяльності, що застосовує теорію, методи і засоби накопичення, оброблення і передачі різноманітних даних, інформації та знань про Землю з допомогою електронно-обчислювальних машин, комп'ютерів та інших технічних розробок – при ГРР все ширше використовуються її (геоінформатики) досягнення. Це властиве й аерокосмогеологічним дослідженням (АКГД), результатами яких [1, 8, 12, 13 та ін.] загалом визначено концепцію і розроблено низку технологічних схем перетворення/інтерпретації даних ДЗЗ, здебільшого при реалізації конкретних тематичних розробок, зокрема під час нафтогазопошукових робіт.

Разом з тим, вирішення проблеми впровадження геоінформаційних технологій у практику дистанційних методів вивчення геологічної будови територій висуває ряд як наукових, так і суто технічних завдань. Насамперед, не розроблено загальноприйнятну концепцію і не створено універсальну технологічну схему оброблення, дешифрування і геологічної інтерпретації матеріалів дистанційних зйомок (МДЗ) на підставі застосування комп'ютерних засобів і програм. Дослідження у цій сфері тривають. Таким чином, метою цієї статті є розгляд запропонованої автором концепції створення узагальненої схеми обробки/інтерпретації МАКЗ із залученням геоінформаційних технологій при ГРР, а також основних складових цієї схеми. Новизна розробки полягає саме у тому, що схема порівняно з попередніми аналогами має узагальнювальний характер під час виконання АКГД найрізноманітнішого спрямування, а не суто вузькотематичного.

Викладення основного матеріалу дослідження та отримання наукових результатів. Автор протягом ряду років вивчав диз'юнктивні структури, пов'язані з ними процеси та інші геологічні об'єкти (зокрема поклади вуглеводнів – ВВ, рудні тіла тощо) з дотриманням визнаних теоретико-методологічних засад проведення АКГД, технологічної послідовності використання даних ДЗЗ. Враховуючи й узагальнюючи відомі комп'ютеризовані методи, методичні підходи і прийоми роботи з комплексом МАКЗ і апіорними результатами геолого-

геофізичних робіт, а також основні етапи їх виконання і послідовність відповідних операцій, як наслідок, було розроблено концептуальну узагальнену технологічну модульну схему перетворення, дешифрування і геологічної інтерпретації даних дистанційного знімання на підставі використання геоінформаційних технологій з метою виявлення і визначення характеристик розривних дислокацій земної кори (рис. 1) [10, 11]. Ця схема реалізується у своєрідній геоінформаційній системі, основними складовими якої є база знань (БЗ), база даних (БД) і програмне забезпечення, що призначене для управління БД і тематичною обробкою даних. Подібні підходи також сповідують інші фахівці [1, 8 та ін.]. Загалом схема складається з чотирьох основних етапів: постановки завдання, формування БЗ і БД, оброблення та аналізу даних на основі використання географічної інформаційної системи (ГІС), комплексного аналізу і геологічної інтерпретації інтегрованої в ГІС інформації. Нижче охарактеризуємо їх детальніше.

Постановка завдання. У залежності від етапу і стадії ГРР, при яких використовуються МДЗ, з допомогою розробленої технології можуть вирішуватися завдання різного масштабного рівня: тектонічне районування і районування території щодо перспективності на якісь корисні копалини (інші об'єкти пошуку) з виділенням основних розломів, розривів, ділянок/площ, перспективних на виявлення якихось корисних копалин (об'єктів); виділення розломно-блокових полів, нафтогазо- або рудовмісних локальних структур в їхніх межах, інших об'єктів пошуку або дослідження з визначенням черговості їх подальшого вивчення різними геолого-геофізичними методами і пошуковим бурінням; детальне вивчення перспективних площ (нафтогазо- або рудоперспективних, перспективних на пошуки різноманітних цільових об'єктів) для більш раціонального розміщення розвідувальних свердловин і виділення ділянок, у межах яких можливі ускладнення (зокрема ділянок, пов'язаних з диз'юнктивною тектонікою) при бурінні, інших гірничих роботах.

Формування БЗ. БЗ включає знання спеціалістів-експертів про предмет досліджень, методику використання та оброблення даних ДЗЗ, моделі об'єктів дослідження і причинно-наслідкові зв'язки їх утворення і розвитку, які необхідні для вирішення поставлених завдань. Зокрема, БЗ для цілей розрізнення диз'юнктивних деформацій містить відомості про їхні ранги, генезис, глибини проникнення (затухання), морфокінематичні характеристики, час їх закладення, активізації, ремобілізації, особливості новітньої та сучасної активності, а також про плікативні структури і речовинні комплекси, що пов'язані з ними як просторово, так і за походженням.

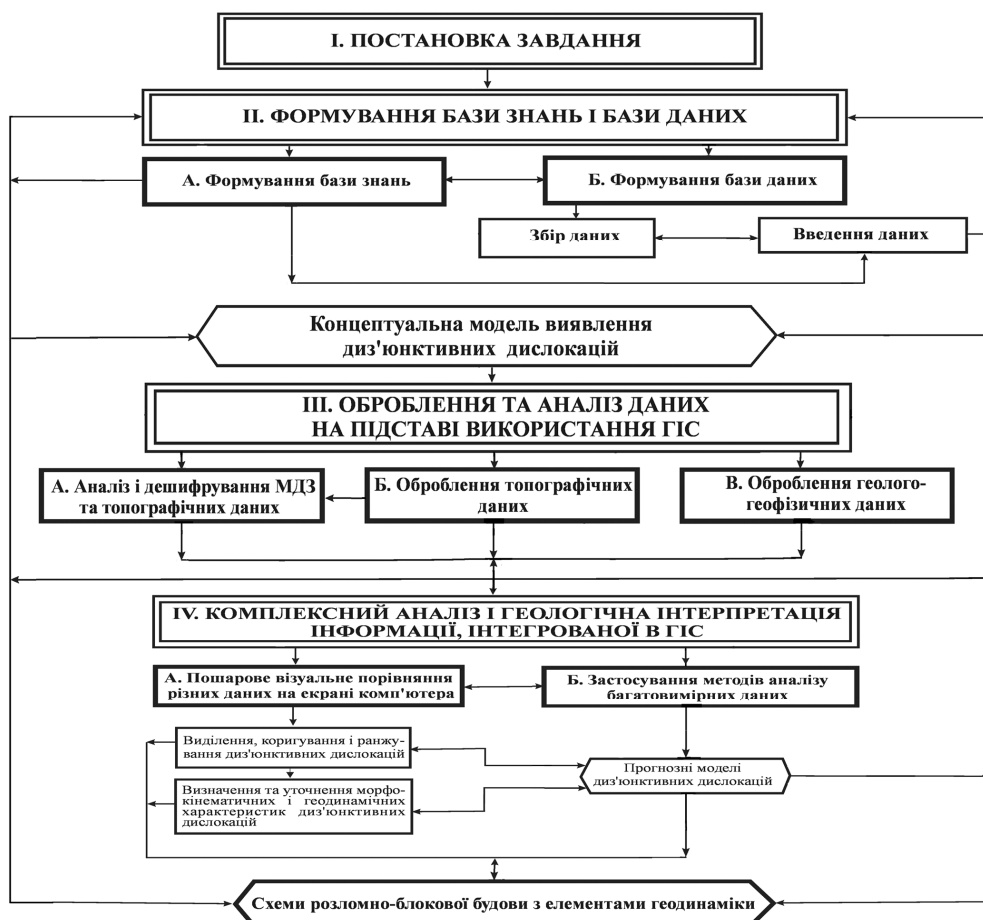


Рис. 1. Концептуальна технологічна модульна схема перетворення, дешифрування і геологічної інтерпретації даних ДЗЗ на підставі використання геоінформаційних технологій з метою виявлення і визначення характеристик диз'юнктивних дислокацій земної кори (спрощений варіант)

БЗ для цілей прогнозу родовищ корисних копалин включає інформацію про загальні закономірності формування речовинно-структурних форм земної кори, що контролюють розподіл цих родовищ, про характер геологічного розрізу (склад, товщини, тріщинуватість гірських порід, їхні флюїдопровідні та інші фізико-хімічні характеристики), про історію тектонічного розвитку, особливо на новітньому етапі. Останнє важливо з огляду на вивчення морфології структур, що вміщують родовища корисних копалин, за МАКЗ, а також їх вираженості як у ландшафті, так і на дистанційних даних.

Необхідне виконання типізації (класифікації) різноманітних об'єктів пошуку (наприклад, розломів, розривних порушень вищого порядку, пасток ВВ, рудовмісних зон тощо) як за геологічними ознаками, так і за ландшафтною (зокрема, геоморфологічною) і дистанційною їхньою вираженістю, ступенем неотектонічної активності. Необхідне також проведення аналізу геоіндикаційних зв'язків рельєфу, компонентів ландшафту загалом, рисунку зображення на МДЗ з одного боку і особливостей геологічної будови з іншого (рис. 1).

Формування БД. БД являє собою сукупність даних, які відображають стан об'єктів досліджень та їх відношень, необхідних для розв'язання поставлених завдань. Вона формується в залежності від змісту завдань прогнозу (пошуку) об'єктів вивчення, а також від ієрархічного рівня цих об'єктів і повинна відповідати БЗ. БД загалом включає аерокосмізмальні, широкий спектр геолого-геофізичних (зокрема геохімічні, гідрогеологічні тощо) і ландшафтних (включаючи геоморфоло-

гічні й т. п.) даних. Головним чином вони представляються у вигляді картографічних матеріалів.

Доцільно складати декілька БД на одну й ту ж територію в різних масштабах. Так для виділення регіонального розломно-блокового каркасу, прогнозування зон нафтогазонакопичення, рудоконтролюючих зон і побудови відповідних схем і карт (зокрема тематичного районування) необхідні БД у масштабах 1:1 000 000 і 1:500 000, для виявлення диз'юнктивів зонального рангу, прогнозування зон розвитку і конкретних локальних нафтогазо- і рудоперспективних структур – у масштабах 1:200 000, 1:100 000 і більших, для детального вивчення площ і родовищ – у масштабах 1:50 000, 1:25 000 і більших.

Аерокосмічні цифрові дані заносяться у БД у растровому форматі, тобто у вигляді матриці значень, що передають інформацію про яскравості або теплові властивості земної/водної поверхні в діапазоні значень від 0 до 255 (байтове вираження). Фотозображення і картографічні матеріали на паперових носіях перетворюються в електронний формат (уводяться в комп'ютер з допомогою сканера). Потім картографічні дані оцифровуються (векторизуються).

Загалом чим більше геолого-геофізичної та ландшафтної інформації міститься у БД (до розумної межі) і чим вище її достовірність, тим кращою зазвичай є якість моделей прогнозних або досліджуваних об'єктів.

Концептуальні моделі об'єктів, що прогнозуються (досліджуються), формуються, виходячи з аналізу БЗ і БД. На їхній основі вибираються методи і методичні прийоми те-

матичного оброблення даних і відповідне програмне забезпечення для його виконання та управління БД.

Обробка та аналіз даних на підставі використання ГІС. Першою стадією аналізу є *візуальне дешифрування* МАКЗ у різних зонах спектра електромагнітних хвиль (ЕМХ), яке проводиться для визначення найінформативніших діапазонів зйомки, побудови схем основних тектонічних елементів і схем геоморфологічного (або ландшафтного загалом) районування території, що вивчається. Ґрунтуючись на візуальному дешифруванні, аналізуються особливості відображення глибинних геологічних структур у рельєфі, інших компонентах ландшафту, а також на даних ДЗЗ, виділяються розривні порушення і розділені ними блоки земної кори з різними ландшафтними характеристиками і різними типами вираженості прогнозних або досліджуваних об'єктів, визначаються методи подальшого цифрового оброблення матеріалів.

Вже на етапі створення БЗ і БД та візуального аналізу даних починається *виділення геоіндикаторів* об'єктів пошуку (прогнозу): диз'юнктивні дислокації, тектонічні блоки з різним ступенем нафтогазо- або рудоносності, локальні структури, перспективні на пошуки корисних копалин, окремі розриви тощо. Виділення індикаційних ознак здебільшого виконується візуально, іноді (при належних ландшафтно-геологічних умовах) і в автоматичному режимі як за вихідними дистанційними зображеннями, так і за знімками, що оброблені за спеціальними методиками, які дозволяють підсилити вираженість того або іншого геоіндикатора.

Важливою стадією оброблення багатозональних (гіперспектральних) МДЗ є аналіз відповідних знімків, який включає метод кольорових композицій, арифметичні операції з різними каналами зображень. Перший з них – *метод кольорових композицій* – ґрунтується на синтезі у псевдокольорах просторово сумішених зображень, що отримані в окремих вузьких діапазонах електромагнітного спектра та які передають яскравісні параметри природних об'єктів у цих зонах.

Методи, що використовують арифметичні операції, стосовно даних ДЗЗ у різних зонах спектра ЕМХ уможливають, як і метод кольорових композицій, виділення тонких відмінностей у відображенні різноманітних природних утворень на результативних зображеннях, отриманих на основі зображень у цих зонах спектра.

Відомо, що рельєф земної поверхні є одним з найвагоміших геоіндикаторів глибинної структури територій. Зазвичай абсолютні відмітки рельєфу, а також геологічні (включаючи геохімічні, гідрогеологічні, інші) та геофізичні дані представляються на картах у формі ізоліній. З метою інтеграції в комплексне цифрове оброблення даних їх необхідно мати (або потрібно перетворити) у формат матриці значень. Причому це представлення (трансформування) повинно бути з кроком, який дорівнює розміру пікселя цифрового дистанційного знімка. Тобто необхідно отримати *цифрову модель рельєфу* денної поверхні, структурних горизонтів земної кори, цифрові моделі геофізичних, геохімічних полів тощо.

Однією із стадій обробки результатів дешифрування МАКЗ є *лінеаментний аналіз*. Він належить до найефективніших методів вивчення внутрішньої будови територій. Основне його завдання – визначення зон розломів і розривів, поділених ними блоків земної кори, що характеризуються різною просторовою організацією поля лінеаментів.

Комплексний аналіз і геологічна інтерпретація інтегрованої в ГІС інформації. Для встановлення зв'язків між моделями, що отримані на етапі оброблення даних, і глибинними геологічними структурами, а

також з метою визначення найінформативніших геоіндикаторів для формування прогнозних або досліджуваних моделей виконується комплексний аналіз інформації. Він поділяється на два підетапи. На першому підетапі на основі концептуальної моделі аналізуються окремі ознаки: вихідні МДЗ, результати їх обробки, схеми геоіндикаторів та їхні характеристики. На другому аналізуються окремі схеми і моделі, що побудовані за декількома ознаками.

Комплексний аналіз інформації реалізується різними способами (рис. 1): візуальним пошаровим зіставленням різних даних на екрані комп'ютера; методами аналізу багатовимірних даних. Перший з них – *візуальне пошарове зіставлення даних на екрані комп'ютера* – є найшвидшим і найпростішим способом комплексного аналізу. Він може виконуватися за допомогою будь-якої векторної ГІС. Послідовне накладання векторних шарів дозволяє виявити найзагальніші закономірності розміщення розломно-блокових полів, родовищ і проявів корисних копалин, простежити вираженість прогнозних (досліджуваних) об'єктів у всіх шарах, що аналізуються. Виділені нові характеристики об'єктів, які відрізняються від концептуальних або такі, що уточнюють їх, включаються у БД і БЗ.

Методи аналізу багатовимірних даних (класифікація, головних компонент, кореляційний, регресійний, факторний аналіз тощо [1, 3, 6–8 та ін.]) застосовуються з метою оцінки структури і взаємозалежності даних, що використовуються, їхньої ролі у відображенні різноманітних геологічних об'єктів, а також з метою встановлення ознак для побудови моделей прогнозу або тих, що досліджуються.

Висновки з дослідження та перспективи подальших розвідок у цьому напрямі. Отже, концептуальна технологічна схема має модульний характер. Так, у залежності від рівня завдань дослідження пошукових об'єктів (глобальний, регіональний, зональний або локальний), їх складності та повноти, а також від обсягу наявних дистанційних і геолого-геофізичних матеріалів можуть застосовуватися окремі її модулі (складові).

Охарактеризована технологічна схема розроблена, дослідно-методично апробована і практично реалізована при дослідженні характеристик розривних порушень земної кори в умовах різної ландшафтно-геологічної будови України у рамках вирішення низки наукових і прикладних завдань надрокористування і геоєкології. У подальшому є сенс цілеспрямовано модифікувати її для розв'язання актуальних проблем пошукової геології, зокрема виділення потенційних нафтогазових пасток, різноманітних рудних тіл, оцінки їх продуктивності тощо.

1. Аэрокосмические методы геологических исследований / Под ред. А.В. Перцова. – СПб., 2000.
2. Готынян В.С., Кострюков М.И., Лаврус В.П. и др. Временные методические рекомендации по аэрокосмогеологическим исследованиям и использование их при нефтегазопроисловых работах. – М., 1987.
3. Можаяев Б.Н., Афанасьев Н.Ф., Астахов В.И. и др. Геоиндикационное моделирование (с использованием материалов аэро- и космических съемок). – Л., 1984.
4. Николаенко Б.А., Быстревская С.С., Воловик В.Т. и др. Карта линейных и кольцевых структур Украинской ССР (по материалам космических съемок). М-б 1:1 000 000. – Киев, 1989.
5. Николаенко Б.А., Веремьев П.С., Кубышкина Л.К. и др. Временные методические рекомендации по применению материалов космической съемки при геологическом изучении платформенной части УССР. – Киев, 1983.
6. Бусыгин Б.С., Никулин С.Л., Бойко В.А. ГИС-технология поисков золота в Западном Узбекистане // Геоинформатика. – 2006. – № 1. – С. 44–49.
7. Дячук В.В., Лизанець А.В., Бабаев В.В. та ін. Системний підхід до вивчення нафтогазових територій дистанційними методами на прикладі ДК "Укргазвидобування" // Геоинформатика. – 2002. – № 1. – С. 70–76.
8. Смирнова И.О., Русанова А.А. ГИС-технология обработки и интерпретации материалов дистанционного зондирования для изучения тектонических критериев размещения месторождений углеводородов // Отечественная геология. – 1999. – № 6. – С. 32–40.
9. Чебаненко И.И., Готынян В.С., Жилковский Н.И. и др. Глубинные

разломы и методика аэрокосмогеологических исследований при нефтегазопроисловых работах в Днепровско-Припятьском авлакогене: Препр. / АН УССР. Ин-т геол. наук; 88-31 / . – К., 1988. – 55 с. 10. Азімов О.Т. Геоінформатика у проблемі створення технологічної схеми обробки/інтерпретації даних аерокосмічних зйомок при вирішенні геологічних завдань // Мат. IX Міжнар. наук. конф. "Моніторинг геологічних процесів" (м. Київ, 14-17 жовт. 2009 р.). – К., 2009. 11. Азімов О.Т. Дослідження диз'юнктивних дислокацій земної кори аерокосмічними методами (на прикладі регіонів України): Дис. ... д-ра геол. наук: 04.00.01 "Загальна та регіональна геологія" / ІГН НАН України. – № ДР 0509U000102. – К.,

2008. 12. Веклич Ю.М., Целік В.В., Янцевич О.О. Розробка та вдосконалення методики геокартування та складання цифрових геологічних карт, включаючи їх дистанційну основу: Звіт про НДР 604 (закл.) / УкрД-ГРІ. – № ДР У-03-135/40. – К., 2005. – Кн. 1. Текст. 13. Мичак А.Г., Філіпович В.Є., Тарангул Д.О. та ін. Розробка методичних рекомендацій з аерокосмогеологічних досліджень та використання їх результатів при геологорозвідувальних роботах. Звіт про НДР / ЦАКДЗ ІГН НАН України. – № ДР 0105U000753. – К., 2005.

Надійшла до редколегії 20.11.09

УДК 556.3:004.94

О. Кошляков, канд. геол.-мінералог. наук,
О. Диняк, канд. геол. наук, І. Кошлякова, пров. інж.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИХІДНИМИ ДАНИМИ МАТЕМАТИЧНИХ ГІДРОГЕОЛОГІЧНИХ МОДЕЛЕЙ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ ПОТОКІВ ҐРУНТОВИХ ВОД НА УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЯХ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол.-мінералог. наук, проф. М.М. Коржневим)

Наведено можливість і доцільність застосування геоінформаційних систем на стадії геофільтраційної схематизації при математичному моделюванні рівнів ґрунтових вод. Продемонстровано можливість відтворення полів геофільтраційних параметрів в умовах недостатнього забезпечення вихідними даними при вивченні динаміки рівнів ґрунтових вод на на урбанізованих територіях.

The possibility and effectiveness of geographical information systems applied for geofiltrative schematization in mathematical modeling of waterlevel is considered. The construction of geofiltrative parameters grids is demonstrated in conditions of lack of input data in studying of waterlevel dynamics at urban territories.

Вступ. В умовах сучасного міста підвищене антропогенне навантаження випробовують усі компоненти природного середовища. У зв'язку з інтенсивною господарською діяльністю різко змінюються гідрогеологічні умови, що спричиняє розвиток небезпечних природно-техногенні процесів (підтоплення, зсуви, суфозія, карст тощо), погіршення екологічної обстановки, та обумовлює виникнення надзвичайних ситуацій. Оцінка таких змін є принципово важливою, оскільки економічний збиток від небезпечних процесів величезний.

Найбільш точні оцінки стану підземних водних ресурсів можуть бути виконані на основі числових постійно діючих геофільтраційних моделей. Метод математичного моделювання геофільтрації є основним методом при обґрунтуванні будівництва об'єктів, які тим чи іншим чином пов'язані з підземними водами. Створення математичної моделі об'єкту та прилягаючої території дозволяє, з одного боку, враховувати наявні природно-техногенні фактори, що впливають на об'єкт, а з іншого боку оцінити вплив будівництва на прилягаючу територію.

Розрізняють чотири послідовних стадії такого моделювання [1]:

- стадія схематизації умов геофільтрації;
- стадія епігнозного моделювання;
- прогнозне моделювання;
- обробка та оформлення результатів моделювання.

Ці стадії взаємопов'язані, і до того ж існує не лише прямий зв'язок, а й обернений.

Перша стадія схематизації умов геофільтрації, визначення розрахункових параметрів та характеристик є обов'язковою вихідною позицією при розв'язанні геофільтраційних задач. На цій стадії проводиться гідрогеологічне розчленування розрізу області потоку на зону аерації, водоносні горизонти і комплекси, а також районування території по площі. В якості елемента гідрогеологічного розрізу виступає водоносний пласт, який складений одним або декількома літологічно-однорідними шарами, які до того ж характеризуються тисним гідравлічним зв'язком. Стадія закінчується точним математичним формулюванням задачі і побудовою вихідної гідродинамічної схеми.

Постановка проблеми. Для побудови коректної математичної детермінованої моделі геофільтрації необхідно досить точно виконати схематизацію території з урахуванням геологічної будови, геофільтраційних параметрів, даних метеорологічної обстановки, а також кількісних даних про техногенне навантаження. Детерміновані моделі для свого коректного використання вимагають досить високої забезпеченості вихідною інформацією, зокрема даними про фільтраційні та ємнісні властивості гірських порід (коефіцієнти фільтрації та гравітаційної водовіддачі), інтенсивність інфільтраційного живлення, крайові умови потоку підземних вод.

Отже, прогноз змін гідрогеологічних умов практично неможливий без детальної гідрогеологічної вивченості територій. Проте, для міських територій часто відсутні дані про фільтраційні характеристики гірських порід по площі та за глибиною, майже відсутні або досить схематично визначенні фільтраційні властивості порід в межах зони аерації. Складно також визначити і відповідно використати в розрахункових залежностях прогнозу величину інфільтраційного живлення ґрунтових вод та визначити (відкорегувати) вихідні параметри за допомогою розв'язання обернених задач, в зв'язку з відсутністю режимної мережі [2].

Аналіз існуючих систем спостережень на об'єктовому та місцевому рівнях показує, що вони здебільшого не відповідають вимогам моніторингу стану підземної гідросфери як за комплексністю, так і за технічним забезпеченням. Наприклад, державна режимна мережа у м. Києві закладалася більше 50 років тому і створювалася для контролю рівня ґрунтових вод на території міста в колишніх його межах. З часом спостережні свердловини поступово виходили з ладу, деякі ділянки їх розташування перейшли під забудову. На жаль, сьогодні багато свердловин режимної мережі не відповідають сучасним задачам по своїй конструкції або непридатні для спостережень унаслідок їх засмічення, засипки. Деякі свердловини в даний час відновлювати економічно недоцільно. До цього необхідно додати, що інформації, отриманої від існуючих стаціонарних пунктів моніторингу, не завжди достатньо для достовірного аналізу конкретних ситуацій.

Виклад основного матеріалу. На сьогодні вважається, що аналітичні математичні методи доцільно використовувати лише на додаток до математичного гідрогеологічного моделювання. Будова гідрогеологічного об'єкта практично не буває повністю вивчена навіть після проведення детальних вишукувань. Різні частини виявляються дослідженими з різним ступенем достовірності. При побудові моделі виникає необхідність екстраполяції відомих параметрів на інші, менш вивчені зони. Все це збільшує статистичну дисперсію отриманої інформації та знижує її достовірність, унеможлиблює використання даних моніторингу з метою встановлення факторів формування режиму ґрунтових вод.

Створення нових точок спостереження за рівнями ґрунтових вод або з метою уточнення гідрогеологічних параметрів в умовах міста є дуже складним і практично неможливим процесом (забудованість території, наявність заповідних та охоронних територій, підземні комунікації).

Отримання уяви про будову геофільтраційного середовища та використання її з метою оцінки існуючого стану і прогнозування його змін, можливо переважно шляхом використання наявних фондових матеріалів по геологічним, гідрогеологічним та інженерно-геологічним свердловинам.

Саме таку інформацію пропонується використовувати при оцінці та прогнозуванні стану системи ґрунтових вод, але на базі геоінформаційних технологій. Більшість вихідної гідрогеологічної інформації неупорядкована та заздалегідь не взаємопов'язана і до того ж отримана у просторово неупорядкованих точках спостережень. Тобто, така інформація на даний час являє собою масиви розрізнених і недостатньо систематизованих даних, іноді важкодоступних для користувача. Тому на першій стадії моделювання доцільно створити таку геоінформаційну базу, яка б дозволила в подальшому виконати науково-обґрунтовану інвентаризацію наявних даних, обробити їх, синтезувати, проаналізувати і використати для гідрогеологічного моделювання. Аналіз і обробку наявної інформації слід виконувати шляхом функцій вибірок, калькуляцій, побудови поверхонь. Це надасть можливість кількісної оцінки в плані та розрізі існуючої гідрогеологічної обстановки.

З метою отримання достовірних розрахунків необхідно обґрунтувати вихідну гідродинамічну схему, та роль основних гідродинамічних факторів формування рівнів ґрунтових вод. На другій стадії слід виконати корегування й обґрунтування створеної вихідної моделі шляхом її відтворення та порівняння модельного розподілу гідродинамічних напорів з реально існуючим (епігнозне моделювання). Модель повинна, з одного боку, віддзеркалювати головні особливості руху потоку, з іншого боку, збігатися з даними натурних спостережень за рівнем ґрунтових вод в межах допустимої обґрунтованої похибки.

Оцінка якості моделі є першим кроком в обґрунтуванні достовірності гідрогеологічних прогнозів, так як дозволяє оцінити якість використаної інформації (що є важливим при подальшому проектуванні), а величини похибок входять як складові в загальну оцінку результатів розв'язку обернених та прогнозних задач.

Одним із головних факторів при гідрогеологічних прогнозах є кількісне визначення величини інфільтраційного живлення. Ця величина залежить від кліматич-

них факторів, рельєфу, складу порід зони аерації, рослинного покриву. Інфільтрація на забудованих територіях різко відрізняється від природної, оскільки вона пов'язана з умовами закритості території, господарського використання, інженерної підготовки. Деякі дослідники вважають, що інфільтраційне живлення міських територій (без врахування різноманітних втрат) може зменшуватися на 30-40 % за рахунок різкого зменшення в містах відкритих ділянок, де може відбуватися інфільтрація [3]. За іншими даними, інфільтрація може збільшуватися за рахунок планування території і зменшення поверхневого стоку.

Визначення величини інфільтраційного живлення на основі гідродинамічного аналізу режиму ґрунтових вод вимагає великого об'єму бурових робіт та тривалих спостережень. Точність визначення в природних умовах зазвичай невелика, так як аналітичні розрахунки, які при цьому застосовуються, відповідають умовам більш-менш однорідного водоносного горизонту. Великі похибки також можуть виникнути в зв'язку з неточністю визначення гравітаційної ємності пласту. В останній час набула розвитку методика дослідження закономірності інфільтрації та випаровування на основі теорії вологопереносу в зоні аерації, проте це вимагає додаткових теоретичних та практичних обґрунтувань. Наприклад, вважається, що інфільтраційне живлення за рахунок конденсації під закритими територіями не може мати суттєвого впливу, так як для створення конденсаційних вод необхідно мати значний циклічний перепад температури під спорудами. Температура гірських порід під забудованими територіями змінюється в порівнянні з незабудованими ділянками, проте діапазон її добового та сезонного коливання незначний. Це й обумовлює неможливість утворення суттєвої кількості конденсаційних вод, яка б перевищувала природну величину інфільтрації.

Все це свідчить про значні складності оцінки величини інфільтрації. Розв'язання такої задачі ускладнюється також тим, що в багатьох геофільтраційних задачах необхідно знати зміну величини інфільтрації внаслідок зміни гідрогеологічних умов.

Проте обґрунтовано можна припустити, що величина інфільтрації залежить від наявності та характеру забудови території [2]. Тому доцільно виконати схематизацію території відповідно до особливостей розподілу інфільтраційного живлення (рис.1). Це досить зручно і ефективно зробити шляхом накладання шарів картографічної інформації (карти забудови, зелених насаджень, схем каналізаційних мереж, автомобільних та залізничних доріг, тощо) з наявної геоінформаційної бази. Величину інтенсивності інфільтраційного живлення ґрунтових вод слід задавати по площі диференційовано в залежності від геоморфологічних особливостей території, літологічного складу покриваючих порід, щільності та характеру забудови і наявності штучного покриття. Це дозволяє більш точно відтворити на моделі умови живлення ґрунтових вод.

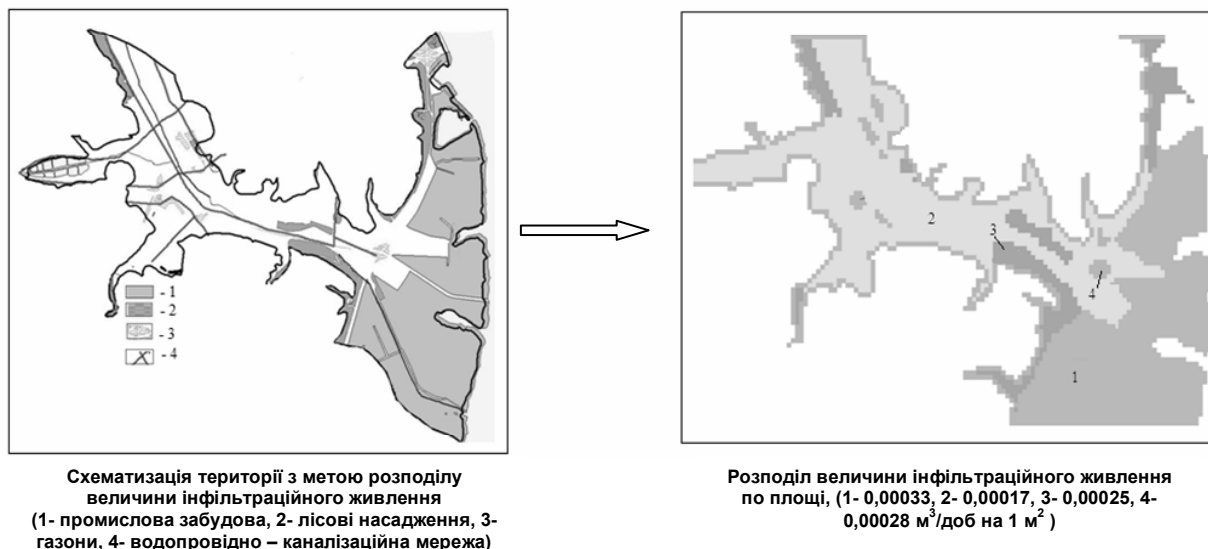


Рис.1. Приклад використання геоінформаційної бази даних при визначенні величини інтенсивності інфільтраційного живлення

Застосування ГІС-технологій в практиці математичного моделювання геофільтрації дає змогу дійсно по новому подивитись на проблему забезпечення моделей вихідними даними. Для забезпечення актуальною інформацією вихідних даних доцільно виконувати в наступній послідовності:

- Збір, систематизація та аналіз фондових на опублікованих геологічних, гідрогеологічних, геоморфологічних інженерно-геологічних та інших матеріалів по об'єкту;
- Формування комп'ютерних фактографічних та картографічних баз даних;
- Побудова цифрових гідрогеологічних карт розподілу геофільтраційних параметрів, використовуючи створені бази даних.

Створена база даних крім вмісту набору гідрогеологічної інформації повинна включати шаблони запитів, що забезпечують доступ до масиву інформації, що в свою чергу дозволяє виконувати аналіз і корегування даних з метою розв'язання конкретного завдання.

База даних гідрогеологічної інформації, поєднана з ГІС-пакетами, є інструментом реалізації моделювання на етапах вводу інформації в модель, виведення результатів розв'язання рівнянь геофільтрації, формування звітних документів.

Висновки. Найбільш точні оцінки стану потоків ґрунтових вод на урбанізованих територіях можуть бути виконані на основі числових постійно діючих геофільтраційних моделей. Проте для міських територій часто відсутні дані про фільтраційні характеристики гірських порід по площі та за глибиною, майже відсутні або досить схематично визначенні фільтраційні властивості порід в межах зони аерації. Складно також визначити і відповідно використати в розрахункових залежностях прогнозу величину інфільтраційного живлення ґрунто-

вих вод та визначити (відкоригувати) вихідні параметри за допомогою розв'язання обернених задач.

В цьому зв'язку пропонується на першій стадії моделювання створити геоінформаційну базу, яка б дозволила в подальшому виконати засобами ГІС науково-обґрунтовану інвентаризацію наявних гідрогеологічних даних, обробити їх, синтезувати, проаналізувати і використати для гідрогеологічного моделювання. На другій стадії моделювання слід виконати коригування й обґрунтування створеної вихідної моделі шляхом її відтворення та порівняння модельного розподілу гідродинамічних напорів з реально існуючим (епігнозне моделювання).

Однією з головних проблем при гідрогеологічному моделюванні є кількісне визначення величини інфільтраційного живлення. Оскільки що величина інфільтрації залежить від наявності та характеру забудови території, доцільно виконати її схематизацію відповідно до особливостей розподілу інфільтраційного живлення. Це можна ефективно зробити шляхом накладання шарів картографічної інформації (карти забудови, зелених насаджень, схем каналізаційних мереж, автомобільних та залізничних доріг, тощо) із створеної геоінформаційної бази.

1. Гавич І.К. Применение моделирования к обработке гидрогеологической информации – М., 1982.
2. Кошляков О.Є., Диняк О.В. Математичне моделювання потоків ґрунтових вод в долинах малих річок. / Тези доп. VII Міжн. наук. конф. "Геофізичний моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища". К. – 2006.
3. Котлов Ф.А. Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека/ Корниенко Н.В., Балков В.А. – М., 1978.

Надійшла до редколегії 02.12.09

УДК 551.3

Н. Аксьом, канд. геол. наук, О. Аксьом, асист.

РОЗРОБКА ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНОГО РОЗДІЛУ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ БАЗИ ДАНИХ М. КИЄВА

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол.-мінералог. наук, проф. М.М. Коржневим)

В статті запропонований підхід щодо створення інженерно-геологічного розділу геоінформаційної бази даних на прикладі м. Києва. Інженерно-геологічний розділ пропонується організувати у вигляді класів/підкласів даних та блоків їх обробки. Розроблено схему інженерно-геологічного розділу ГБД м. Києва, відпрацьовано та апробовано методику і механізм інтеграції різнопланових інженерно-геологічних даних в ГІС, створено орієнтовну структуру кожного шару, частково створені шари та заповнено атрибутивні таблиці.

In the article engineer-geological section geodatabase is offered for Kyiv city. It is suggested to organize an engineer-geological section as classes/subclasses information and blocks of their treatment. The chart engineer-geological section GDB is developed for Kiev, integration different engineer-geological information in GIS exhaust and tested method and mechanism, the exemplary structure of every layer is created, partly layers and attributive tables are filled.

Постановка проблеми. В даний час інформаційні технології починають займати в геологічних дослідженнях одну з провідних ролей у зв'язку з їх величезними функціональними можливостями.

Вченими підраховано, що 85 % інформації, з якою стикається людина в своєму житті, має територіальну прив'язку [4]. В концепції геоінформаційних систем (ГІС) закладені всебічні можливості збору, зберігання, інтеграції та аналізу будь-яких розподілених в просторі або прив'язаних до конкретного місця даних. Цим системам можна знайти застосування практично в будь-якій сфері діяльності людини [2]. ГІС ефективні у всіх областях, де здійснюється облік і управління територією і об'єктами на ній. Це практично всі напрями діяльності органів управління і адміністрацій: земельні ресурси і об'єкти нерухомості, транспорт, інженерні комунікації, розвиток бізнесу, забезпечення правопорядку і безпеки, управління ЧС, демографія, екологія, охорона здоров'я. Також доцільне використання ГІС при плануванні розподілу сільськогосподарських угідь, проведення іригаційних робіт, в лісовому господарстві, в комерційних і державних організаціях, де вони можуть поліпшити механізм ухвалення рішень через використання просторової інформації. Можливості просторового представлення і аналізу інформації дають стратегічну перевагу багатьом фахівцям у відділах планування, логістики, маркетингу, роботи з клієнтами, надання послуг і так далі [5].

ГІС-технології добре задовольняють потреби багатьох секторів ринку, у тому числі і в області інженерних мереж. Вони активно використовуються вже тривалий час, але в першу чергу в системах збору даних простягання мережових об'єктів в полі, де розглядаються не лише мережі самі по собі, але їх взаємодія з оточуючим середовищем. Використання ГІС-технологій зможе прискорити процес обробки інформації практично в усіх галузях народного господарства, зв'язаних з використанням географічних даних.

Актуальність. Останнім часом в зв'язку з стрімким розвитком будівництва виникає необхідність раціонального використання територій, в тому числі і потенційно небезпечних, на яких спостерігаються різноманітні екзогенні геологічні процеси: ерозія, зсуви, селі, суфозія тощо.

В м. Києві зсуви приурочені, головним чином, до правого крутого берега Дніпра і відмічаються на схилах чисельних балок та ярів. Спостереження за станом схилів, особливо в межах такого великого міста, ведеться дуже давно: першою задокументованою згадкою про боротьбу зі зсувними явищами в Києві є звернення в 1685 році архімандрита Печерського монастиря В. Ясинського до генерала П. Гордона, з проханням роз-

робити заходи з запобігання "обвалу пагорба, на якому стоїть церква коло самого входу в Печери" [6]. Місто знаходиться в специфічних регіонально-геологічних та географічних умовах, на стику північного схилу Українського кристалічного щита і Дніпровсько-Донецької западини, в лісостеповій зоні в області широкого поширення лесового покриву. Тут внаслідок особливостей рельєфу, клімату і геологічної будови проявляються різнобічно і інтенсивно геологічні процеси та явища. Багатовікове існування та масштаби будівельної і господарської діяльності в м. Києві суттєво впливають на розвиток як природних, так і антропогенних геологічних процесів і явищ, на зміну його природної обстановки. Для території м. Києва, в долині Дніпра, чітко визначена приуроченість зсувів до певних літолого-генетичних комплексів порід та кліматичних умов території. Зсувні явища, які проявляються на території, що розглядається, головним чином, розвиваються в верхній частині над строкатими глинами, нижче ж проходять зміщення делювіальних порід. Виявлено, що в межах схилів, в геологічній будові яких приймають участь верхньочетвертинні лесові утворення, виникло біля 37 % зсувів, що були зафіксовані за останні 100 років спостережень [1].

Тому гостро постає питання у створенні єдиної бази даних для моніторингу негативних геологічних процесів. Така база даних може включати інформацію про: геологічну будову, гідрогеологічні умови, геоморфологію, кліматичні фактори, гідрографію, геометрію схилів та укосів і т.д.

Постановка завдання. Мета роботи полягає в розробці та створенні інформаційного розділу для зберігання та обробки інженерно-геологічних даних а також для моніторингу та прогнозу розвитку екзогенних геологічних процесів (ЕГП).

При використанні традиційної бази даних неможливо прослідкувати мінливість параметрів та показників по площі і встановити закономірності. База даних, котра спроектована таким чином, щоб зберігати інформацію про графічні об'єкти, називається геоінформаційною базою даних (ГБД). Із цього випливає, щоб не перетворитися на простий графічний редактор з елементарним вимальовуванням векторних зображень, ГБД повинна мати просторові координати на певну, визначену структуру. Крім того, з кожним об'єктом повинна бути зв'язана певна атрибутивна інформація.

Методика та результати досліджень. В теперішній час геологічна будова м. Києва вивчена досить детально, проте чисельні проектні організації поки що не мають єдиної уніфікованої системи в позначеннях інжене-

рно-геологічних елементів (ІГЕ), а це може призвести до певної неточності та спотворення кінцевого результату. В цьому аспекті постає питання щодо необхідності приведення (уніфікації) всіх інженерно-геологічних даних в єдину систему, що забезпечить унікальність позначень для ІГЕ в геоінформаційній базі даних на території м. Києва.

Інженерно-геологічний розділ пропонується організувати у вигляді класів/підкласів даних та блоків їх обробки (рис. 1). Дані розміщуються у восьми основних класах та оброблюються в два етапи (блоки обробки).

Класи даних:

1. Інженерно-геологічні дані;
2. Моніторинг екзогенних геологічних процесів (ЕГП);
3. Дані дистанційного зондування Землі (ДЗЗ);
4. Природні чинники;
5. Техногенні чинники;
6. Дані інтегровані в ГІС
7. Адаптовані дані для ГІС аналізу;
8. Результати просторового моделювання та прогнозу розвитку ЕГП.

Розділ умовно можна розділити на чотири типи інформації – "Первинна" пункти 1-5, "Первинна адаптована для ГІС" – пункт 6, "Вторинна адаптована для ГІС

аналізу" пункт 7 та "Результати аналізу і моделювання" (прогнозні карти) пункт 8.

Первинна інформація – дані отримані в результаті інженерно-геологічних досліджень, натурних спостережень та ін.

Первинна адаптована інформація для ГІС – дані формуються шляхом їх інтеграції в ГІС у точковому, лінійному та полігональному вигляді з подальшим переведенням їх у векторний формат зі створенням атрибутивних таблиць.

Вторинна адаптована інформація – данні формуються у вигляді результату ГІС аналізу, з метою їх адаптації для проведення просторового аналізу та моделювання. Дані знаходяться у вигляді нерегулярних мереж трикутників TIN та безперервних цифрових растрових моделей GRID, їх класифікацій та рекласифікацій.

Результати аналізу і моделювання – результати просторового моделювання розвитку ЕГП, різноманітні просторові оцінки збитків, прогнозні карти тощо.

В класі "Інженерно-геологічні дані" пропонується збирати відомості щодо інженерно-геологічних умов та геологічного розрізу в межах будівельних майданчиків, після проведення інженерно-геологічних вишукувань відповідними проектними організаціями.

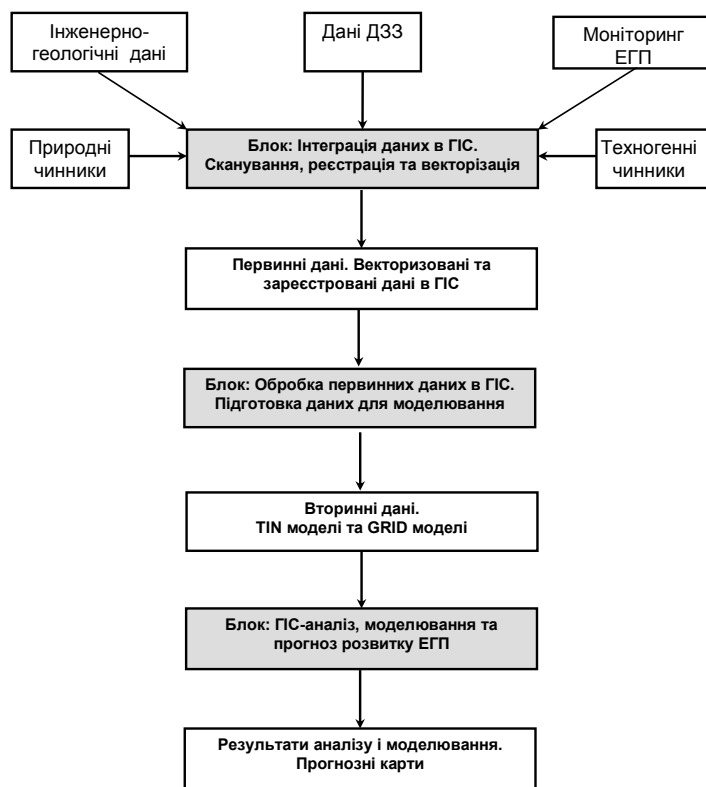


Рис. 1. Схема зв'язків даних та їх обробки в межах Інженерно-геологічного розділу

Можливі два варіанти накопичення даних. Перший – накопичення даних по кожній свердловині в межах будівельного майданчика, другий узагальнений – присвоєння

зведеної таблиці фізико-механічних властивостей ґрунтів для майданчика в цілому. В табл. 1 наведено приклад структури шару "інженерно-геологічні свердловини".

Таблиця 1. Структура атрибутивної таблиці шару "інженерно-геологічні свердловини"

Структурний елемент ГБД	Опис структурного елементу ГБД
Розділ	Інженерно-геологічний
Клас даних	Інженерно-геологічні дані
Підклас даних	Прямі методи
Тематичний шар	Інженерно-геологічні свердловини

Закінчення табл. 1

Структурний елемент ГБД	Опис структурного елементу ГБД
Атрибутивна таблиця	номер свердловини, для кожного інтервалу буріння (від – до) вказується діаметр свердловини, для кожного інтервалу обсадки (від – до) вказується зовнішній діаметр обсадних труб, вказується інтервал установки фільтру (від – до), діаметр фільтру, тип фільтру, зазначається технічний стан свердловини, пошарово вказується номер виділеного інженерно-геологічного елементу (ІГЕ), геологічний індекс, назва породи, для четвертинних відкладів вказується генезис порід, глибина підошви, потужність ІГЕ.

Важливими елементами цього блоку є непрямі методи – результати геофізичних досліджень та ін.

Клас "Моніторинг ЕГП" є невід'ємним елементом в інженерно-геологічному розділі геоінформаційної бази даних м. Києва. Тут вноситься інформація про небезпечні геологічні процеси на даній території досліджень, до яких можуть відноситися: зсуви, суфозія, карст, ерозія, абразія тощо. Визначається ступінь впливу на навколишнє природне середовище, можливі наслідки та ризики для населення і народногосподарської діяльності. Фіксується (по-можливості) час активізації та причина виникнення, площа поширення процесу та інші параметри.

В класі "Дані ДЗЗ" відбувається інтерпретація даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) для отримання додаткової та/або оновленої інформації щодо розвитку ЕГП. На рис. 2 наведено приклад космічного знімку будівельного майданчика.

Клас "Природні чинники" необхідний для внесення допоміжних даних природного характеру, наприклад: кількість атмосферних опадів в межах міста, геоморфологія, гідрографія, карта ізоліній рельєфу тощо.

Клас "Техногенні чинники" буде містити данні техногенного характеру такі, як схема мережі водопостачання, водовідведення, тепломережі, мережа збору дощових вод, дренажні споруди та інші комунікації, втрати з них води, навантаження від ваги будівель і споруд різного призначення, ваги води для поливу зелених насаджень, динамічних навантажень і впливів тощо [1].



Рис. 2. Космічний знімок QuickBird, роздільна здатність 0,6м

Блок "Інтеграція даних в ГИС" відповідає за сканування, реєстрацію та векторизацію різнопланових даних в середовищі ГИС.

Блок обробки даних "Обробка первинних даних в ГИС" відповідає за обробку первинних адаптованих даних з метою отримання карт та цифрових моделей. Проводиться обробка даних по рівню ґрунтових вод (РГВ) при інженерно-геологічних дослідженнях, визна-

чаються параметри схилів, проводиться аналіз кутів нахилу, проводиться дистанційний аналіз – відстані від будівель чи певних об'єктів, наявності чи відсутності рослинного покриву, розподілу атмосферних опадів тощо. Сюди можна віднести інтерполяцію, створення нерегулярних мереж трикутників TIN та безперервних цифрових растрових моделей GRID.

Блок обробки даних "ГІС-аналіз, моделювання та прогноз розвитку ЕГП" призначений для прогнозування розвитку ЕГП, з подальшою візуалізацією у вигляді карт, тривимірних моделей тощо (рис. 3). Блок може бути доповнений різноманітними модулями вирішення задач та прогнозів для державних установ таких, як КМДА, МНС та ін.

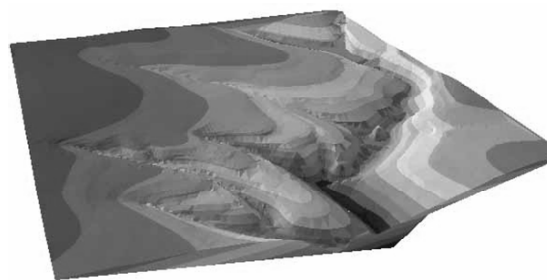


Рис. 3. Фрагмент TIN-моделі рельєфу території м. Києва

Для найбільш ефективного розподілу витрат часу і засобів при дослідженні зсувів є сенс у визначенні ступеня їх впливу на інженерні споруди і інші народногосподарські об'єкти, тобто, виділення потенційно-зсувних ділянок що представляють реальну небезпеку для народного господарства.

За результатами обстежень зсувів, чинників, що їх викликають, ступеня впливу на народногосподарські об'єкти пропонується виділення так званих потенційно-небезпечних зон [1, 3]: тобто зон, де розвиток зсувних процесів відбувається в безпосередній близькості від інженерних споруд, житлових будівель, гідротехнічних споруд та інших народногосподарських об'єктів, а також місць, де вплив зсувів призвів або може призвести в майбутньому до значних економічних або катастрофічних наслідків.

Після того, як будуть виділені найбільш важливі зони за ступенем небезпеки, необхідні детальні візуальні обстеження даних ділянок. Так само необхідні обстеження нещодавно утворених зсувів з виконанням замірів параметрів зсуву, факторів, що впливають на активізацію зсувів (РГВ, кількість опадів, техногенних чинників) і фіксація їх результатів в блоці "Моніторинг ЕГП". Для підвищення точності аналізу потрібне постійне оновлення даних по кожен зсув.

За аналогією можна створювати тематичні шари для інших негативних процесів (наприклад, "підтоплення", "суфозія" тощо).

Етапи наповнення та функціонування інженерно-геологічного розділу ГБД:

- введення просторових даних, отриманих шляхом сканування твердих копій карт, геокодування даних інженерно-геологічних досліджень, використання даних дистанційного зондування Землі та ін.;
- векторизація та реєстрація в єдиній координатній системі;
- перевірка топології об'єктів;
- розробка структури атрибутивної таблиці для кожного шару ГБД;
- присвоєння атрибутивних даних для кожного об'єкту, в межах кожного шару;
- групування шарів за тематичними ознаками;
- актуалізація даних;
- представлення даних та визначення режиму доступу (видання карт, таблиць, зображень на твердих та електронних носіях, в мережі Internet).

Для реалізації поставленої мети був використаний програмний продукт ArcGIS 9.3.

Висновки. На теперішній час розроблено схему інженерно-геологічного розділу ГБД м. Києва, відпрацьовано та апробовано методику і механізм інтеграції різнопланових інженерно-геологічних даних в ГІС, орієнтовну структуру кожного шару, частково створені шари та заповнено атрибутивні таблиці.

Відкритим залишається питання доступу та отримання інженерно-геологічних даних, оскільки вони є власністю проектних організацій. Наповнення цього розділу ГБД м. Києва можливо лише при підтримці і відповідних розпорядженнях з боку КМДА та наданні доступу до інженерно-геологічних звітів. В цьому випадку гостро постає

питання права власності на інформацію, оскільки в ній будуть задіяні дані різних проектних організацій та комунальних підприємств (деякі з них закриті для загального доступу). Проте, до відкритих класів даних можна віднести "Природні чинники", "Моніторинг ЕГП" та частково "Інженерно-геологічні дані" оскільки їх створення можливе без залучення сторонніх організацій.

Створення та використання геоінформаційної бази даних надасть можливість побудови цифрових пошарових дво- та тривимірних моделей, котрі дозволять візуалізувати інженерно-геологічну будову, будувати безперервні поверхні параметрів та потужностей по всій території міста, виявити приховані інженерно-геологічні закономірності, мати змогу створення запитів за просторовими, кількісними та якісними критеріями. Потужний інструментарій ГІС та можливість створення власних розрахункових модулів дозволить проводити прогноз і оцінку економічних збитків при певних кількісних співвідношеннях різних чинників. Це в першу чергу надасть можливість виконавчій владі та МНС прийняти заходи по запобіганню або зменшенню потенційних збитків.

1. Аксьом Н.М. Прогноз стійкості схилів з урахуванням впливу атмосферних опадів (на основі ГІС-технологій). Дис. ... канд. геол. наук. К. – 2007.
2. Захарій Н.В., Коржнев М.М., Малахов І.М. Технологія систематизації та обробки екологічної інформації за допомогою ГІС в гірничовидобувних регіонах України // К.: 2007.
3. Інженерно-геологічні особливості зсувного процесу на Дніпровських схилах біля Маріїнського палацу // Кризський М.М., Негода О.П., Ніколішин В.П., Кризська Н.М. Вісн. Київ. ун-ту Сер. Геологія. – Вип. 20. – 2001.
4. Реструктуризація мінерально-сировинної бази України та її інформаційне забезпечення // Довгий С.О., Шестопалов В.М., Коржнев М.М., Трофимчук О.М. та ін. К.: 2007.
5. Яковлев Є.О., Іванюта С.П. Оцінка ризиків і соціально-економічних збитків в умовах прояву екзогенних геологічних процесів. 36. наук. пр. УкрДГПІ. №2, 2008.
6. <http://triada.org.ua>

Надійшла до редколегії 12.12.09

УДК 550.814

Л. Миколенко, асп.

ОСОБЛИВОСТІ МЕТОДИКИ ЗАСТОСУВАННЯ ДАНИХ ДЗЗ В СИСТЕМАХ МОНІТОРИНГУ ЗСУВОНЕБЕЗПЕЧНИХ ТЕРИТОРІЙ

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

Висвітлено деякі методичні аспекти використання даних дистанційного зондування Землі в системах моніторингу зсувонебезпечних територій. Розглянуто особливості дешифрування знімків, виділено індикаційні ознаки зсувних ділянок за матеріалами космічної зйомки на прикладі Правобережжя м. Києва.

Some aspects of a technique of use the Remote Sensing data laying the geophysical monitoring systems of dangerous creep processes are considered. The features of deciphering are considered, the indicating signs of creep processes are selected on materials of the Remote Sensing data on the example of Kyiv's right bank.

Актуальність теми та постановка проблеми у загальному вигляді. На території України широко розповсюджені екзогенні геологічні процеси (ЕГП) і явища природного, техногенно-активізованого і техногенного походження. До природних як найінтенсивніших належать: карст, зсуви, обвали, осипи, підтоплення, затоплення, заболочування, селі тощо. Серед екзогенних геологічних процесів, що спостерігаються в межах України, зсуви відносяться до найпоширеніших і найбільш небезпечних. Відомо, що характеристики зсувоутворення залежать від величини й інтенсивності діючих природних і техногенних факторів. Тривалість їх дії до досягнення схилом граничного стану залежить від внутрішнього напружено-деформованого стану масиву гірських порід, який і визначає підготовленість схилу до подальших зміщень.

Вирішення задачі дослідження та прогнозування активізації зсувів неможливе без комплексного підходу до вивчення і аналізу зсувних процесів. Найкращі резуль-

тати при вирішенні цієї задачі можна отримати в системах моніторингу геологічного середовища із застосуванням сучасних геоінформаційних технологій. За останні десятиріччя питання визначення закономірностей розвитку зсувного процесу та прогнозу його активізації стало надзвичайно актуальним науковим та практичним завданням, для вирішення якого широко залучаються методи геофізики.

Специфіка досліджень зсувних процесів в межах міських територій обумовлює необхідність використання матеріалів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). Можливості цих методів сьогодні дозволяють широко використовувати їх для виявлення, картографування, контролю та здійснення прогнозних оцінок стосовно активізації небезпечних екзогенних процесів. Однак теоретико-методологічні принципи виділення та диференціації зсувних зон за морфокінематичними і геодинамічними характеристиками на підставі застосування даних ДЗЗ до теперішнього часу не розроблені в повній мірі. Окрім

того, слід відзначити чинник незначного рівня використання комп'ютерних технологій обробки, дешифрування та інтерпретації залучених даних ДЗЗ.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аерокосмічний аспект дослідження екзогенних процесів, зокрема, зсувів, не досить повно освітлений в сучасних вітчизняних публікаціях. Значною мірою це пов'язано із високими вимогами щодо секретності дистанційних даних з високим просторовим розрізненням. Серед вітчизняних робіт на цю тему слід відзначити монографії та публікації В.І. Лялька, В.С. Готиняна, О.Д. Азімова, А.Г. Мичака, [1, 2, 5, 7, 10]. Відомі російські [9] та зарубіжні [11] видання, присвячені аналізу можливостей даних дистанційного зондування Землі в задачах дослідження небезпечних зсувних процесів.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Дослідження з метою розробки теоретико-методологічних основ оцінки та прогнозу активізації зсувних за матеріалами ДЗЗ в Україні здійснювались в ДНВЦ "Природа" та ЦАКДЗ ІГН НАНУ. Проте основні проблеми розрізнення зсувних деформацій за планово-морфологічними і кінематичними характеристиками, а особливо за геодинамічними ознаками на підставі використання даних ДЗЗ багато в чому й до цього часу залишаються невирішеними. Залишаються відкритими численні питання, пов'язані із методико-технологічними особливостями використання знімків – геометричної трансформації, спектральної корекції, зведення різнорідної інформації до єдиної системи координат тощо. Дослідження щодо вирішення цих проблем переважно проводяться із обмеженням застосуванням сучасних комп'ютерних технологій. Це часто призводить до того, що, навіть, раціонально обравши комплекс матеріалів ДЗЗ та здійснивши необхідні роботи з аналізу та дешифрування даних, їх результати неможливо співставити із матеріалами наземних геолого-геофізичних досліджень. А отже, розгляд питання щодо прогнозних оцінок і, відповідно, ефективності тих чи інших методик дешифрування, стає недоцільним.

Метою статті є висвітлення деяких методичних аспектів використання матеріалів дистанційного зондування Землі в процесі дослідження зсувонебезпечних територій

Виклад основних результатів роботи. Значний техногенний вплив в межах великих промислових агломерацій сприяє тому, що екологічний стан довкілля зазнає відчутних змін упродовж відносно незначних проміжків часу. Тому інформатизація оцінок екологічного стану геологічного середовища територій, що зазнають дії зсувних процесів, безперечно, повинна базуватися на даних моніторингу, тобто, потребує створення та забезпечення функціонування системи спостережень, збору, передавання, зберігання та аналізу еколого-геологічної інформації, прогнозування змін екологічного стану довкілля та розробки науково обґрунтованих рекомендацій для прийняття управлінських рішень на всіх рівнях – від об'єктового до регіонального.

Використання методів ДЗЗ нерозривно пов'язане із застосуванням геоінформаційних систем (ГІС), які надають змогу використовувати невпорядковану геофізичну, геологічну, гідрогеологічну, географічну інформацію в поєднанні з даними аерокосмічних зйомок і являють со-

бою незамінний інструмент для аналізу та візуалізації результатуючих даних. Важливою особливістю ГІС-технологій є робота з просторово-прив'язаними даними. Це дозволяє забезпечити можливість узагальнення і висвітлення найбільш вагомих екологічних проблем, генералізувати еколого-геологічну інформацію у вигляді картографічного матеріалу, який таким чином і стає картографічним інформаційним забезпеченням і дозволяє виконувати систематизацію, обробку, аналіз і інтерпретацію чисельних необхідних даних та надання оперативних та обґрунтованих екологічних висновків і прогнозів.

До появи та апробації сучасного комплексного аерокосмічного зондування, вважалося, що дані аеро- та космозйомки можуть бути використані лише на першій стадії прогнозів як один з методів прогнозного картографування та районування. Однак, оцінка можливостей сучасних систем дистанційного зондування Землі значно розширила сферу застосування даних ДЗЗ при здійсненні зсувних прогнозів [3, 6]. Різні варіації цих методів, залежно від природних умов і факторів розвитку зсувів, дозволяють прогнозувати не тільки місце розташування зсувних вогнищ і зсувонебезпечних ділянок, але й визначити відносний часовий період можливих зсувних рухів у межах установлених зсувонебезпечних схилів та характер (спрямованість і масштаб) активізації конкретних частин зсувного схилу або зсувного вогнища.

В рамках даної роботи було проведено дослідження можливостей використання даних аерокосмічної зйомки для моніторингу зсувних зон Правобережжя Дніпра в межах м. Києва. Для вирішення поставленої задачі автором було здійснено:

- підбір та попередню обробку даних дистанційного зондування Землі по території правобережної частини Київської агломерації;
- просторову прив'язку наявних знімків за допомогою ГІС;
- виявлення зсувних зон Київського Правобережжя та оцінку їх морфометричних характеристик за матеріалами ДЗЗ;
- порівняння результатів дешифрування даних дистанційного зондування із результатами геолого-геофізичних досліджень.

В задачах виявлення небезпечних зон, оцінки їх морфометричних характеристик та сучасного стану, найбільш ефективними є матеріали багатозональної фотозйомки, радіолокаційної зйомки та космічні знімки з високим просторовим розрізненням (<5 м). Вони дозволяють здійснювати виявлення, картографування та оцінку морфометричних характеристик зсувів, карстів, селів, підтоплень тощо, відслідковувати прояви активності процесу та здійснювати прогнози щодо його активізації в майбутньому [4]. До того ж, в рамках досліджень в межах урбанізованих агломерацій, матеріали дистанційного зондування Землі повсякчас є одними із основних, що пов'язано із складністю проведення періодичних польових робіт в умовах значного техногенного навантаження.

Методичний аспект підготовки знімків для інтеграції їх в систему моніторингу відображено на відповідній структурно-графічній моделі (рис. 1).

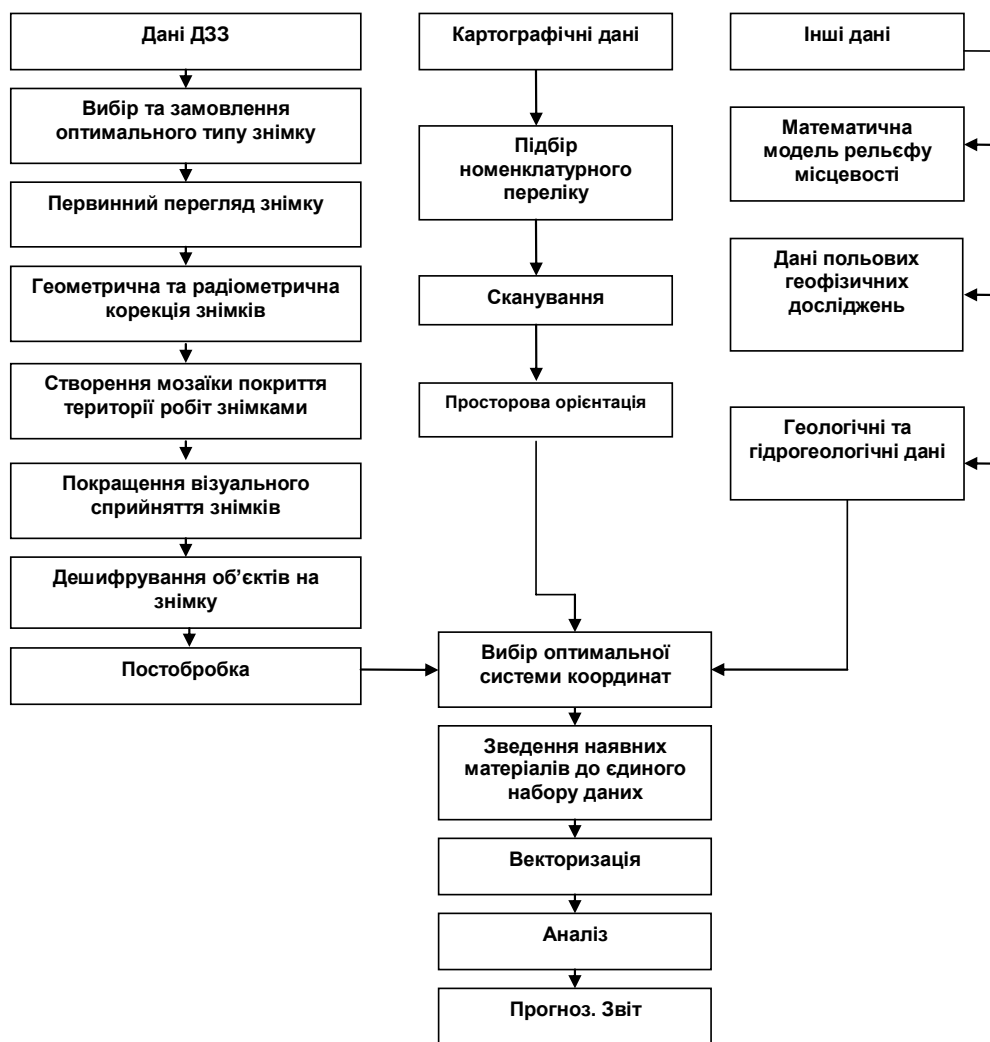


Рис. 1. Структурно-графічна модель обробки знімків та інтеграції їх в систему моніторингу зсувних процесів

Процедура геометричної трансформації зображень виконана в програмному середовищі ERDAS Imagine. Географічна прив'язка проводилася шляхом набору контрольних точок, що рівномірно розподілені по всій площі знімку. Контрольні точки обиралися як об'єкти, що із необхідним ступенем детальності відображаються як на знімку, так і на растровій карті (відповідно, це можуть бути перехрестя доріг, вершини кутів основ будинків, тинів). Алгоритм трансформації – поліноміальний першого порядку. Під час прив'язки враховувався рельєф місцевості (проведена процедура ортокорекції зображень). Трансформація зображень проводилася у координатну систему Гауса-Крюгера. Побудована математична модель рельєфу, що відповідає масштабу карти 1:10 000. Отримані при перевірочному тестуванні результати показали залежність кінцевої геометричної точності від якості допоміжних даних, що використовувалися при ортотрансформуванні та кількості GSP-точок прив'язки. В загальному випадку середньоквадратична похибка RMS не перевищувала 1,5 м.

При дешифруванні зображень найбільш чіткі прояви на матеріалах ДЗЗ дають циркоподібні, фронтальні, скобоподібні, глетчеровидні, грушоподібні форми, а також їхні варіації. Ці форми вірогідно відбивають розходження в складі гірських порід, охоплених зсувом. Для зсувів, що виникають у напівскельних і скельних породах, характерні різкі й кутасті форми в плані (скобоподібна, фронтальна, складна).

Зсуви, що виникають у зв'язних і незв'язних породах, характеризуються плавними обрисами овально-вигнутих форм (циркоподібна, грушоподібна, глетчероподібна). За космічними знімками, орієнтуючись на зазначені ознаки, встановлюються ділянки розповсюдження цих явищ, закономірності просторового положення декількох зсувних вогнищ відносно один одного. Деталізація отриманої інформації здійснюється на основі дешифрування матеріалів, що дозволяють типізувати зсуви за механізмом зсуву гірських порід. При цьому як індикатори виступають форма зсуву в плані, її розміри, рельєф мас, що змістилися, характер границь порушених і непорушених ділянок досліджуваної поверхні.

Відповідно до сучасних уявлень [9] зсуви за механізмом переміщення гірських порід підрозділяються на три головні типи: зсуви ковзання, зсуви видавлювання та зсуви в'язкопластичні. Однак досить часто в природі розвиваються зсуви змішаного типу, у яких поєднуються різні механізми зсуву. Ці особливості механізму зсувного процесу досить часто відбиваються через зсувний рельєф (форма в плані, структура мас, що змістилися, характер границь зсувних вогнищ) та добре дешифруються на аерофотознімках, а у випадку великих розмірів зсувних вогнищ – на космічних знімках. Найкращі результати дозволяє отримати дешифрування аеро- і космічних знімків, отриманих у різний час, що дозволяє досліджувати динаміку цих процесів.

Типізація зсувних вогнищ за їхньою морфологічною структурою і механізмом зсуву гірських порід та віднос-

ний вік зсувних форм в комплексі дозволяють здійснити факторний аналіз причинно-наслідкових зв'язків у розвитку зсувного процесу й прогнозувати його подальшу динаміку. При цьому активну роль індикаторів характеристик і показників інтенсивності зсувного процесу відіграють зовнішні особливості ландшафтів зсувних вогнищ, обумовлені характерним поєднанням рослинності та рельєфу. Їхній стан є непрямим показником ступеня порушеності, обводненості, теплопровідності та розущільненості гірських порід, що складають зсувні схили, які в комплексі є індикатором активності процесу. Саме в такий спосіб можлива класифікація зсувних форм за відносним віком на свіжі (що утворилися протягом останніх років), давні (що утворилися протягом десятиліть років) і древні (що утворилися протягом сотень років).

Ці зсувні зони мають наступні особливості дешифрування. Свіжі зсувні форми, як правило, позбавлені корінної рослинності, часто повністю або частково оголені. Для них характерні різко виражені форми зсувного рельєфу: східчасті блоки, пасма, рови, борозни, тріщини, напливи, наявність численних водопроявів у вигляді джерел, підтоплень, водотоків. У давніх зсувних форм рослинність вторинна із проективним покриттям до 70 %, але помітно відрізняється за колірною гамою й складом від корінної. Зсувний рельєф згладжений, без різких граней, уступів, западин і гребенів, водопрояви можуть зберігатися тільки у вигляді заболочених понижень і орієнтуватися по вологолюбній рослинності з локалізацією головним чином у тилкових швах поверхонь-блоків, що стикаються один з одним або зі стінкою зриву. Древні зсуви найчастіше розпізнаються за виразністю в рельєфі величезних за площею зсувних цирків з різко вираженою брівкою древніх стінок зриву й практично повною ерозійною переробкою древніх зсувних тіл, аж до повної відсутності слідів зсувного рельєфу.

Результати аналізу матеріалів аерофотозйомки, наземних ландшафтно-індикаційних досліджень і геофізичних робіт, виконаних КДГП "Геосервіс" у 1998-2002 рр. дозволили виділити на профілі (рис. 2) ряд зон різної активності. Кожна зона має певне сполучення ландшафтних характеристик, що відбиваються в малюнку аерофотозображення, та геофізичні параметри, що є індикаторами характеру активності зсувного процесу.

Визначено, що на ділянках, що підлягають впливу сильної активізації зсувного процесу, відзначено або повне знищення ґрунтово-рослинного покриву та первинного рельєфу схилів, або часткове заростання їх рослинністю піонерського угруповання. Для цих ділянок характерні: виходи ґрунтових вод у вигляді джерел і застійних водойм, наявність зсувних тріщин різної орієнтації. Проективне покриття ділянок, підданих слабким зсувним рухам, значно вище, воно досягає 70-80 %. При цьому частка оголених ділянок та площ, що покриті рослинністю піонерного угруповання, значно нижча, ніж покритих рослинністю вторинного й корінного угруповань. Рельєф поверхні схилу в цьому випадку менш різкий. Значення геофізичних параметрів (питомий електричний опір, комплексний параметр викликані поляризації) тут трохи вищі. Ділянки стабілізації зсувного процесу характеризуються майже повним заростанням зсувного схилу рослинністю вторинного угруповання до повного її злиття з корінною. Проективне покриття в цьому випадку досягає 90-100%. Значення геофізичних параметрів у порівнянні з іншими зонами максимальні.

Більшість зсувів території досліджень просторово приурочені до схилів густої яружно-балкової мережі із базисом ерозії у тальвегах ярів та балок. В основному це – зсуви-потіки. У них найбільш виразними є стінки

зриву, зсувне тіло – потік, а інші морфологічні елементи відображені слабо.

В межах Центральної зсувної ділянки зсуви відносяться до групи циркоподібних, з добре виявленою у рельєфі стінкою зриву та зсувороздільними мисами. На відміну від Подільської ділянки зсувні форми Центральної ділянки мають практично суцільне розповсюдження. Характерною особливістю тут є те, що часто декілька зсувів мають практично спільну стінку зриву. Зсуви, відмічені на Лаврській та Залавській ділянці, характеризуються відносно слабкою вираженістю у рельєфі морфологічних елементів та відсутністю зсувної тераси. Зсуви Видубицької зсувної ділянки належать до групи циркоподібних з добре вираженими у рельєфі морфологічними елементами. Чітко простежується стінка зриву.

Висновки. В результаті проведених робіт сформульовані методичні аспекти застосування даних ДЗЗ в системах моніторингу зсувонебезпечних територій. Розглянуто основні етапи підготовки, обробки та дешифрування даних ДЗЗ. Внаслідок проведення дешифрувальних робіт виявлено, що фізіономічні характеристики елементів зсувної морфології (форма зсуву в плані, її розміри, рельєф мас, що змістилися, характер границь порушених і непорушених ділянок досліджуваної поверхні) відображають стан активності зсувного процесу і тісно пов'язані з геофізичними параметрами (в першу чергу – питомим електричним опором та комплексним параметром викликані поляризації). Аналіз результатів дешифрування космічних знімків та геолого-геофізичних досліджень показав високу ефективність даних ДЗЗ в задачах моніторингу зсувних процесів: виявлення зсувних зон, оцінки морфометричних характеристик зсувів та сучасного стану активізації зсувного процесу. До того ж, в рамках моніторингових досліджень на урбанізованих територіях, матеріали дистанційного зондування Землі повсякчас є одними із основних, що пов'язано із складністю проведення періодичних польових робіт в умовах значного техногенного навантаження на території.



Рис. 2. Зсувні зони Київського Правобережжя на фрагменті знімку з КА QuickBird, 03.2003):
I – Подільська, II – Центральна, III – Лаврська,
IV – Залавська, V – Видубицька

В цілому, можна говорити про доцільність дослідження сучасних зсувонебезпечних та екзогенних процесів за даними ДЗЗ у їх співставленні з матеріалами польових геофізичних, геологічних, гідрогеологічних та топографо-геодезичних робіт.

В подальшому, маючи достовірну інформацію про наявність зсувів, умови розвитку (генезис, вік, склад і властивості порід), типізацію зсувів за механізмом зсуву, морфологією, структурою мас, що змістилися, відносним віком, характером активності, можна на основі матеріалів аерокосмічної зйомки із використанням даних регіональних досліджень і фондових матеріалів різних відомств проаналізувати причинно-наслідкові зв'язки розвитку зсувних процесів. Це дозволить обґрунтувати прогнозно-оціночні параметри їхнього виникнення або активізації й запобігти можливим критичним ситуаціям при будівництві та експлуатації інженерних споруд.

1. Азімов О.Д. Теоретико-методичні аспекти використання дистанційних аерокосмічних методів при вивченні геодинамічних процесів. // Вісн. Київ. ун-ту. Геологія. – 2004. – №29–30. – С. 88–93.
2. Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування. / Лялько В.І., Попов М.О., Федоровський О.Д. та ін. – К., – 2006. 3. Вижва С.А. Геофізичний моніторинг небезпечних

геологічних процесів. – К., 2004. 4. Геоиндикационное моделирование (с использованием материалов аэро- и космических съемок) / Б.Н. Можаяев, Н.Ф. Афанасьев, В.И. Астахов и др. – Л., 1984. 5. Готинян В.С., Рудько Г.І., Козак В.І., Миколенко Л.І. Можливість використання ГИС/ДЗЗ технологій для вивчення зсувних процесів // Матер. регіонал. наради "Можливості сучасних ГИС/ДЗЗ-технологій у сприянні вирішення проблем Буковини". – Ч., 2006. 6. Дистанционное зондирование и географические информационные системы / А.М. Чандра, С.К. Гош. – М., 2008. 7. Кузьменко Е.Д., Ляшук Д.Н., Чебан В.Д., Штогарин Л.В. Обґрунтування вибору геофізичних, геологічних та геоморфологічних параметрів для оцінки зсувонебезпечності і методика їх комплексної інтерпретації // Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики. – 2005. 8. Мичак А.Г., Ліщенко Л.П., Теременко О.М., Кудряшов О.І., Щелець М.С. Вивчення екологічного стану урбанізованих промислових територій України за багатозональними космічними знімками // Космічна наука і технологія. – Т. 8, № 2/3, 2002. – С. 209–217. 9. Ревзон А.Л., Камышев А.П. Природа и сооружения в критических ситуациях. Дистанционный анализ. – М., 2001. 10. Теременко О.М., Лялько В.І., Федоровський О.Д., Рябоконенко О.Д. Екологічна інтерпретація космічних зйомок міських агломерацій. // Нові методи в аерокосмічному землезнавстві. – ЦАКДЗ ІГН НАН України. – К. – 1999. 11. Meinel G., Neubert M., Reder O. (2001): The Potential Use Of Very High Resolution Satellite Data For Urban Areas – First Experiences with IKONOS Data, their Classification and Application in Urban Planning and Environmental Monitoring. Vortrag auf dem 2nd Symposium Remote Sensing of Urban Areas, Regensburg – Regensburger Geographische Schriften 37.

Надійшла до редколегії 04.12.09

ЗАГАЛЬНА ТА ІСТОРИЧНА ГЕОЛОГІЯ

УДК (551.435.62:624.131.453) : 502.58] (477.86)

О. Іванік, канд. геол. наук, докторант

МЕХАНІЗМ ФОРМУВАННЯ ОСУВУ СКЛАДНОЇ ПРИРОДИ У С. КРАСНИК (НИЖНЯ ТЕЧІЯ Р. ЧОРНИЙ ЧЕРЕМОШ)

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

Визначено чинники формування та особливості будови осуву складної природи у с. Красник Верховинського району Івано-Франківської області, що спричинив деформації транспортних споруд у даному населеному пункті. Підтверджено комбінований механізм формування осуву. Запропоновано превентивні заходи щодо запобігання його негативного впливу на інженерні споруди. Показано можливість використання даного об'єкту для моніторингових досліджень осувонебезпеки та класифікаційних побудов.

Main factors of the landslide formation and the peculiarities of the landslide structure in Krasnik village (Ivano-Frankivsk area) are defined. The landslide caused the transport objects deformations in this village. The complex mechanism of the landslide formation has been proved. Preventing activities for the hazards and the negative influence prevention has been proposed. This object could be used for the monitoring research of the landslide formation and classifications.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Найбільш руйнівними із небезпечних геологічних явищ, що здійснюють негативний вплив на транспортні природно-техногенні системи, є водно-гравітаційні процеси, що проявляються у формуванні осувів у геологічно різних геологічних середовищах. Різноманітні фактори формування осувних явищ в Карпатах вивчали та аналізували як численні виробничі та наукові установи, так і окремі дослідники. В результаті створено інформаційну базу з поширення цих явищ та їх характеристик. Аналізуючи ступінь вивченості гравітаційних процесів, слід зазначити, що найбільшою розробленістю відзначається проблема формування осувних явищ та оцінка їх взаємодії із інженерними спорудами. Цьому питанню присвячено значну кількість наукових публікацій, загальний огляд яких наведено у роботах Є.П. Ємельянової [6] та М.Г. Демчишина [3]. Теоретичному обґрунтуванню прогнозу осувних явищ на основі різних методичних підходів присвячено роботи Г.С. Золотарьова [7], Г.І. Тер-Степаняна [11], Є.П. Ємельянової [5], В.В. Кюнтцеля [9], К.Л. Гулакяна із співавторами [1], В.К. Кучай [8], М.Г. Демчишина [3] та ін. Що ж стосується аналізу впливу осувних явищ на транспортні магістралі та їх взаємодії із лінійними спорудами,

то окремо слід відзначити роботи М.Г. Демчишина [2], Г.М. Шахунянца [13], А.М. Драннікова із співавторами [4], С.А. Трескінського [12] та багатьох інших. Однак постійна активізація осувних процесів та їх негативний вплив на транспортні споруди різного призначення вимагає проведення детальних аналітичних досліджень чинників та механізмів їх формування з метою прогнозування виникнення цих явищ та розробки превентивних заходів щодо їх негативного впливу. У зв'язку з цим головним завданням досліджень є комплексний аналіз геолого-геоморфологічних чинників осувоутворення на прикладі модельних полігонів, визначення класифікаційних ознак осувів та відповідна побудова фізико-геологічних моделей з метою наступного прогнозного моделювання осувного процесу.

Геолого-геоморфологічна характеристика осувонебезпечної ділянки та чинники формування осуву. Осувонебезпечна ділянка, що підлягала детальним дослідженням, знаходиться на південно-західній околиці с. Красник Верховинського району Івано-Франківської області. Саме у Верховинському районі склалася катастрофічна ситуація в результаті інтенсивних повеней у липні 2008 році, що призвело до формування серії осувів та відповідних негативних наслідків

екологічного та економічного плану. Описуваний осув активізувався у ніч з 20 на 21 липня 2008 року. Це зумовило руйнування дороги другого-третього значення, що знаходилась у верхній частині схилу, та часткове перекриття автомобільної дороги Ільці-Буркут.

Ділянка робіт територіально знаходиться на продовженні скиби Рожанки Славсько-Верховинської підзони Кросненської структурно-фаціальної зони в межах Скибового покриву Карпат. Загалом Кросненська зона займає центральне положення в структурі Флішових Карпат, її внутрішні елементи насунуті в північно-східному напрямку на зовнішні. У зв'язку із неоднозначністю трактування критеріїв виокремлення зони, встановлення достеменно її меж викликає певну проблему. Однак за більшістю уявлень – це єдина структура, для якої поняття "структурна зона" і "структурно-фаціальна зона" не співпадають. Тилові скиби Скибового покриву (Рожанки і Зелем'янки), які картувались тут раніше, на їхньому продовженні віднесені до Кросненської зони Скибового покриву [10].

Ділянка охоплює обвальню-осувний лівий схил р. Чорний Черемош, що належить до річкового басейну Прута, є типовою гірською річкою із швидкою течією (0,9-1,5 м/сек), U-подібною долиною, великою кількістю корінних виходів порід в руслі та водоспадів висотою до 4-15 м в каньйоноподібних витоках і притоках. Морфометричні параметри ділянки наступні: її ширина вздовж дороги складає понад 50 м, довжина – понад 100 м. Об'єм осувних мас складає близько 1000 м³.

Осувонебезпечна ділянка являє собою складну багаторунсну осувну зону, що складається із осувних тіл та їх елементів різної морфології та віку (рис. 1). Крутизна схилу у межах ділянки змінна і коливається від 10 до 55°.



Рис. 1. Осувонебезпечна ділянка у с. Красник Верховинського району Івано-Франківської області

За польовими обстеженнями визначено, що осув має складну структуру та фактично являє собою комбінацію декількох осувних тіл різної будови, що відрізняються як за механізмом формування, так і за їх виразом у рельєфі. Фактично він поділяється на дві зони, що мають такі особливості.

У нижній частині схилу спостерігаються осувні зміщення, що захоплюють делювіально-колювіальні відклади четвертинного віку, представлені супіщано-суглинистими утвореннями. Потужність цих відкладів складає понад 2,5 м. Тіла осувів мають нерівну погорбовану поверхню, вільну від дерев та покриті трав'яною рослинністю з окремими кущами. Вони ускладнені тріщинами та свіжими заколами різного орієнтування. Механізм цих зміщень пов'язаний із перезволоженням

відкладів у результаті надмірної кількості опадів та подальшою втратою зв'язності порід. Поверхневі води частково промивають тріщини відриву у межах схилу, у результаті чого формуються невеличкі озера переважно у крайовій північно-східній частині ділянки. В'язкопластичний рух перезвожених мас відбувається у результаті перевищення порога стійкості та порушення динамічної рівноваги схилу. Ці типи осувів належать до категорії осувних зміщень, сформованих в квазіоднорідному середовищі і таких, що мають деляпсивну природу. Рух осувних мас відбувається по площині нашарування порід нижньокросненської підсвіти кросненської світи олігоцену. Площина зміщення має криволінійний характер у межах схилу та змінює як напрямок простягання, так і кут падіння. Крайові частини осувних тіл частково перекривають дорогу та перешкоджають руху автотранспорту (рис. 2).



Рис. 2. Формування осувних тіл у нижній частині осувонебезпечної ділянки та часткове перекриття автомобільної дороги Ільці-Буркут

Верхня частина схилу характеризується наявністю сучасних осувних зміщень із чітко вираженою стінкою відриву, яка є незгідною до залягання флішових відкладів. Стінка відриву має висоту від 6 до 8 м та крутизну від 50 до 85° (рис. 3). У її нижній частині фіксуються сучасні делювіально-колювіальні утворення із фрагментами шаруватих аргілітів та алевролітів, що мають потужність до 10-20 см. На площині нашарування існує чітко виражена тріщинуватість, що розчленовує флішодні товщі на окремі пакети і блоки. Цей фактор також сприяє порушенню стійкості схилу. У результаті осувних процесів у цій частині зруйновано верхню дорогу місцевого значення, що має значний поворот у місці осування та підрізає схил. Спостерігаються значні тріщини на поверхні дороги та інші деформації допоміжних укріплень і споруд.

Отже, основне зміщення по площині нашарування флішових відкладів призвело до наступного залучення у процес осування достатньо потужних четвертинних утворень, що зумовило формування на схилі різновікових осувних тіл, що характеризуються відмінними морфологічними ознаками та масштабністю прояву. Основний етап осувного процесу характеризується формуванням осуву структурного генезису із формуванням більш пізніх осувів у квазіоднорідному середовищі деляпсивного типу.



Рис. 3. Стінка відриву сучасного осуву у верхній частині осувонебезпечної ділянки та наслідки руйнування дороги місцевого значення

Висновки. Досліджувана осувонебезпечна ділянка характеризується формуванням осувних тіл різної будови та механізму. Загалом описуваний осув належить до категорії комбінованих осувів складної природи багатостадійного формування. Виходячи із класифікаційних ознак, його можна віднести до структурних осувів консеквентного типу, утвореного на місці давніх консеквентних та інсеквентних осувів та ускладненого формами другого порядку, сформованими в квазіоднорідному середовищі, представленому делювіально-колювіальними четвертинними відкладами. Для попередження подальшого розвитку цього процесу необхідне встановлення укріплювальної протиосувної стінки та спорудження дренажної канами вздовж автомобільного шляху глибиною, не меншою, ніж 0,5 м.

УДК 55:061

Досліджуваний район, зважаючи на його складну гетерогенну геологічну будову, є показовим полігоном для відпрацювання аналітичних методик дослідження стану природно-техногенних систем і може бути рекомендованим для постійного моніторингу. Доведено, що прояв несприятливих явищ будь-якого типу та категорії потребує комплексної інтегральної оцінки чинників їх формування з визначенням важливих складних взаємозв'язків між компонентами геологічного середовища та з'ясування особливостей взаємозалежностей між ними. Дослідження осувних процесів різних механізмів та морфології є одним із необхідних етапів уточнення та деталізації загальних та регіональних класифікацій гравітаційних процесів.

1. Гулакян К.А., Кюнтцель В.В., Постоев Г.П. Прогнозирование оползневых процессов. – М., 1978.
2. Демчишин М.Г. Проявление древних оползней в Советских Карпатах в связи с транспортным строительством // Труды XIII-го конгресса КБГА. – Краков, 1985. – Часть II. – С. 475-478.
3. Демчишин М.Г. Современная динамика склонов на территории Украины: инженерно-геологические аспекты. – К., 1992.
4. Дранников А. М., Стрельцес Г. В., Купраш Р. П. Оползни на автомобильных дорогах. – М., 1972.
5. Емельянова Е.П. Сравнительный метод оценки устойчивости склонов и прогноза оползней. – М., 1971.
6. Емельянова Е.П. Указатель литературы по оползням и устойчивости склонов в 1936-1960 гг. и краткий обзор состояния изученности оползневой проблемы в СССР. – М., 1962.
7. Золотарев Г.С. Инженерная геодинамика. – М., 1983.
8. Кучай В.К. Прогнозирование оползней // Сов.геология. – 1973. – №3. – С. 128-132.
9. Кюнтцель В.В. Закономерности оползневых процессов на Европейской территории СССР. – М., 1980.
10. Мацьків Б., Лукач Б., Пастуханова С., Воробканич В. Геологічна будова та корисні копалини басейнів верхньої течії рік Тиса, Прут та Черемош. Звіт "Геологічне довивчення площ масштабу 1 : 200 000 Рахівської групи аркушів М – 34 – XXXVI, М – 35 – XXXI, L – 34 – VI, L – 35 – I (в межах України) на площі 12100 кв. км (1997-2006 рр.)". – Кн. 1. – Київ, 2006.
11. Тер-Степанян Г.И. Новые методы изучения оползней. – Ереван, 1978.
12. Трескинский С.А. Склоны и откосы в дорожном строительстве. – М., 1984.
13. Шахунянц Г.М. Железнодорожный путь. – М., 1969.

Надійшла до редколегії 03.12.09.

С. Половка, канд. геол. наук

МОРСЬКІ ГЕОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЧЕНИХ УКРАЇНИ В АНТАРКТИЦІ

(Рекомендовано членом редакційної колегії канд. геол. наук, доц. О.М. Іванік)

В статті висвітлено наукові здобутки морських геологів України, які були отримані під час антарктичних експедицій.

The article deals with the results of the research conducted in the Antarctic expeditions by marine geologists of the Academy of Sciences of Ukrainian SSR (now National Academy of Sciences of Ukraine).

Вступ. З відкриттям Антарктиди (шлюпи "Восток" під командуванням Ф.Ф. Беллінсгаузена, "Мирный" – М. П. Лазарєва, січень 1820 р.) вона є регіоном посиленої уваги шостків із різних країн світу, які різноманітно вивчають шоківний континент і останнім часом особливо увагу приділяють дослідженню дна акваторії Південного океану.

Українські дослідники є повноцінними представниками наукової спільноти в цій частині світу. Вони мають певні наукові напрацювання з морських геологічних досліджень у цьому регіоні, неодноразово брали участь у міжнародних наукових об'єднаннях вчених, що проходили на кшталт Міжнародного полярного чи геофізичного року.

Аналізу історії та науковим здобуткам експедиційних досліджень різних країн і українських вчених в тому числі в Антарктиці з часу її відкриття до сьогодні, присвячено чисельні публікації [1 – 9].

Постановка завдання. Нами зроблено спробу відтворити історичний перебіг подій, що спонукали до повернення дослідників України в Антарктику після розпаду СРСР, підвести підсумок здобуткам вчених у галузі морської геології та висвітлити сучасний стан дослідження акваторії шостого континенту українськими дослідниками.

Виклад основного матеріалу. В грудні 1982 р. – квітні 1983 р. відбулась навколосвітня антарктична експедиція (НАЕ), яку організувала гідрографічна служба Червонопрапорного Чорноморського флоту (ЧЧФ) ВМФ СРСР спільно з Інститутом морських наук АН УРСР.

Експедиція проходила на флагмані гідрографічної служби ЧЧФ ВМФ СРСР – ОДС "Адмирал Владимирский" та ОДС "Фаддей Беллінсгаузен" і була присвячена 163 річниці відкриття російськими дослідниками Антарктиди [8].

Слід наголосити, що Л. І. Мітін – командуючий ГС ЧЧФ ВМФ СРСР, кандидат військово-морських наук, контр-адмірал та нинішній директор ІГН НАН України академік НАН України П.Ф. Гожик особисто прийняли участь у цій експедиції.

Основною науковою метою експедиції було подальше вивчення океанографічних, геофізичних та гідрографічних досліджень Південного океану. Також проводилися геологічні дослідження на шельфі Антарктиди, її материковому схилі та в оточуючих акваторію улоговинах [1, 9].

Геологічним загоном (співробітники ІГН АН УРСР) було уточнено положення берегової лінії, відкрито понад 150 підводних гір та височин, які сягають висоти

2000 – 2500 м відносно дна океану. За зібраними матеріалами створена нова лоція Антарктики. Дані промірів були використані для складання навігаційних карт ГС ЧЧФ ВМС СРСР.

Встановлено, що дно шельфу перетинають багаточисельні жолоби від 500 до 2000 м. Шельф представлений двома зонами: внутрішньою та зовнішньою. В першій зоні частіше всього відсутні донні відклади, як припускають вчені – це наслідок екзарації дна айсбергами. Дно другої зони представлено теригенними пісками з гравієм та щебенем корінних порід. В жолобах розповсюджені теригенно-біогенні відклади, такі ж відклади виявлено і на материковому схилі, але тут переважає теригенний матеріал, який надходить з материка внаслідок айсбергового переносу.

Під час експедиції також досліджувалися донні відклади великих геотектур Південного океану (Африкансько-Антарктична, Австрало-Антарктична та Південно-Тихоокеанська). З'ясувалося що їх дно складено переважно форамініферовими мулами [1, 7].

Крім ґрунтових станцій, були здійснені маршрутні дослідження на острови Смоленськ та Ватерлоо, де виявлені потужні товщі базальтів.

Як відомо, Антарктида багата на мінеральну сировину. Найбільш вивченими з корисних копалин дна Південного океану є залізо-манганові конкреції (ЗМК). Дані з металогенії Південного океану українськими вченими були отримані під час навколосвітніх Антарктичних експедицій ВМФ СРСР (1982 – 1983 і 1987 – 1988 рр.). Значна їх концентрація виявлена в Тихоокеанському секторі та в протоці Дрейка, зустрічаються вони в районі Південно-Тихоокеанського підняття, плато Кемпбела, в улоговинах Белінсгаузена та Австрало-Антарктичній, в районі підняття Чатем та морі Лазаревих і не тільки на поверхні дна, але і в товщі донних осадків [6].

Крім ЗМК дно Південного океану є перспективним на пошуки рудних мулів, масивних сульфідів та інших корисних копалин, пов'язаних з кристалічними породами підводних хребтів, особливо в зоні Південного потрійного зчленування в районі о. Буве. Наявність підводних вулканів дозволяє припустити в межах дуги Скотія можливість існування рудопроїв гідротермального походження. Зокрема, це стосується району поблизу о. Десепшен, де можливі прояви субмаринної гідротермальної діяльності [6].

Масштабні та систематичні дослідження періоду СРСР в акваторії Антарктики на потужних науково-дослідних судах, які були оснащені за останнім словом науки і техніки, дозволили досягти значних успіхів у вивченні рельєфу дна та донних відкладів і т. п.

Ця навколосвітня експедиція на ОДС "Адмирал Владимирский" та "Фаддей Беллінсгаузен" значно похвалила інтерес українських дослідників до вивчення Антарктиди. В 1987 – 1988 рр. геологи ІГН АН УРСР (Г. М. Орловський, В. П. Вернігоров, В. В. Полонський та В. Р. Ципцюра) прийняли участь в наступній антарктичній експедиції на ОДС "Іван Крузенштерн". Узагальнення матеріалів цих двох експедицій по геоморфології, геологічній будові, стратиграфії, літолого-геохімічним особливостям донних відкладів, а також по екзогенній металогенії, зокрема закономірностях розповсюдження ЗМК були опубліковані в колективній монографії "Геология и металлогения Южного океана" (П. Ф. Гожик, Г. М. Орловський, Л. І. Мітін). Ця монографія під редакцією Є. Ф. Шнюкова побачила світ у видавництві "Наукова думка" у 1991 р. [3]. В ній значне місце відводиться корисним копалинам Південного океану, зокрема розглянуто можливість використання айсбергів як резерву питної води для південних районів

земної кулі, особливу увагу приділено вивченню проблеми походження ЗМК. Вивчення їх хімічного, мінерального та речовинно-генетичного складу за допомогою факторного аналізу дозволило деталізувати деякі дискусійні питання їх генезису, зокрема джерела рудної речовини, безпосередньо характер процесів рудного мінералогенезу і фактори, що його контролюють, встановити парагенетичні асоціації елементів-груп, що знаходяться в конкретному геологічному об'єкті (конкреції), і які об'єднуються ідентичністю геологічної історії. Зокрема, виділено полярні асоціації, такі як манганову (манган, нікель, хром, мідь, молібден, германій, цинк, барій) та залізисту (залізо, кобальт, гафній, цирконій, титан, берилій, фосфор, лантан, церій, ітрій, ітербій). Встановлено мінеральний склад конкрецій. Відносно корисних копалин дна Південного океану та Антарктичного материка, автори підкреслюють, що екологічний стан у Південному океані та Антарктиді дуже легко може бути порушений. Тому, хоча Антарктида і дно Південного океану потенційно багаті на корисні копалини, ні в якому разі неможливий перегляд Договору про Антарктику 1959 р., що призвело б до розподілу її на сфери впливу різних держав, розвитку геологорозвідувальної і експлуатаційної діяльності, а це в свою чергу призвело б до загибелі унікальної природи Антарктики.

З кожним рейсом НДС поповнювалася база даних про геологію морів Південного океану. Здобута інформація порівнювалася з даними морських експедицій інших країн та уточнювалася за допомогою космічних знімків.

Після проголошення Україною Незалежності 24 серпня 1991 р. та розпаду СРСР Росія оголосила себе правонаступницею всіх антарктичних станцій, які належали Радянському Союзу. Україна була позбавлена можливості продовжувати дослідження в Антарктиці, хоча багато відомих українських вчених, які свого часу зробили вагомий внесок у дослідження Антарктики. Тому цілком природно було бажання вчених не втратити такий потенціал та повернутися до антарктичних досліджень. Отримавши британську антарктичну станцію "Фарадей" (Меморандум про передачу підписано 10. 02. 1995 р., м. Лондон), яка стала носити українську назву "Академік Вернадський" (6. 02. 1996 р.), Україна знов повернулася до досліджень на шостому континенті.

Поява осередку України в Антарктиці активізувала вивчення Південного океану науковцями нашої держави. Відповідно до Державної програми досліджень України в Антарктиці (Постанова Кабінету Міністрів України від 4 липня 1996 р. № 719) розгорнулися п'ять напрямків досліджень за одинадцятьма проектами: "Геологія", "Океанографія" та ін. На сьогодні Україна самостійно спорядила і провела 14 антарктичних експедицій, частина з яких були одночасно морськими комплексними та антарктичними експедиціями (I та II УМКАЕ). На шельфі Західної Антарктики морські геологічні, геофізичні та екологічні дослідження здійснювались українськими вченими в морі Беллінсгаузена, акваторіях Південних Оркнейських, Південних Шетландських островів, акваторії архіпелагу Аргентинських островів (район УАС "Академік Вернадський"). В протоці Дрейка вивчався рельєф дна та донні відклади тощо.

Результатом цих робіт стало створення детальної оцифрованої карти, яка в подальшому стане складовою частиною Батиметричної карти Південного океану. Це є реальним внеском України в міжнародну співпрацю з дослідження Антарктики. На базі зазначеної карти побудовані деякі спеціальні карти геоморфологічної будови дна. Наступним значним доробком українських вчених стало продовження робіт з металогенії під час II-ї та III-ї УМКАЕ в 1997 і 1998 рр. Побачили світ узагально-

ючі монографічні роботи "Железомарганцевые конкреции Индийского океана" (Є. Ф. Шнюков, Г. М. Орловський, С. А. Клещенко, В. П. Резник, А. П. Зиборов, А. А. Щипцов, 2001) та "Геолого – геоморфологічні дослідження східноантарктичних морів Південного океану" (О. М. Іванік, П. Ф. Гожик, 2002) [5 – 6].

Перша присвячена узагальненню результатів геологічних, мінералого-геохімічних, літологічних та інших досліджень ЗМК та порід, що їх вміщують (сектор Індійського океану). В ній сформульоване поняття "поле конкрецій", зроблено наголос на генетичному і промисловому значенні багатопластових конкреційних покладів, виявлено вплив рифтових зон серединно-океанічних хребтів і вулканічних осередків на утворення конкрецій, а також підтверджено седиментаційно-діагенетичний генезис конкрецій. Значну увагу приділено перспективним у промисловому відношенні ділянкам розвитку ЗМК.

Розглянуто методи пошуків конкрецій та способи їх видобування, а також правові питання, пов'язані з виділенням та підготовкою для експлуатації ділянки видобування.

В другій монографії викладено результати аналітичних узагальнень та методичних розробок геолого-геоморфологічних досліджень східно-антарктичних морів Південного океану. Запропоновано методику дослідження геоморфологічної будови дна із застосуванням ГІС-технологій. Підтверджено, що застосування ГІС-технологій має значно поліпшити дослідження геолого-геоморфологічних компонентів земної біосфери. Охарактеризовано основні риси седиментогенезу та морфогенезу у Південному океані, що відзначаються складною просторовою мінливістю залежно від різноманітності природних умов, що відображено в процесах рельєфоутворення і в фаціальних системах різних рівнів. Викладено основні аспекти впливу рельєфу океанічного дна на розподіл зон біопродуктивності в межах Південного океану.

Отримані результати дозволили в червні 2001 р. організувати і провести Першу українську антарктичну конференцію (1UAM2001), у якій прийняли участь не тільки представники України, а також Росії (Інститут земного магнетизму і розповсюдження радіохвиль, Російська антарктична експедиція), Нідерландів (Міжнародна Асоціація Антарктики та Південного Океану) та ін. Така зацікавленість до конференції говорить про визнання високого рівня досліджень українських науковців в акваторії Антарктики.

Дослідження Південного океану вченими України набули нового витка під час 3-го Міжнародного полярного року, який було присвячено 50-й річниці 3-го Міжнародного геофізичного року. Одночасно з першим проходить Міжнародний геліофізичний рік, скоординовані спостереження багатьох країн учасників розпочалися в 2007 році. Результатом цих робіт став широкий обмін науковою інформацією й поповнення Міжнародної бази даних про Антарктику. Основними носіями засобів досліджень були: космічні апарати, науково-дослідні судна, полярні станції, підводні човни та апарати [4].

Україна отримала можливість прийняти найактивнішу участь у проведенні досліджень Антарктики під час

3-го Міжнародного полярного року як на науково-дослідному судні і станції "Академік Вернадський", так і за допомогою космічних апаратів "СІЧ".

Під час організації експедицій Україною використовувалося два варіанти доставки науковців: морський – шляхом з Одеси чи Севастополя до станції "Академік Вернадський" та комбінований – авіарейсом до морських портів Чилі або Аргентини і далі до станції зафрахтованим судном. Досвід проведення експедицій свідчить, що морський варіант має низку переваг, насамперед за рахунок розширення наукових досліджень під час рейсу судна та в акваторії станції. НДС "Горизонт" та "Ернст Кренкель", які забезпечували попередні Українські арктичні експедиції побудовані в 60-х роках ХХ ст., тому державі вже час потурбуватися про побудову нового спеціалізованого антарктичного судна, яке буде утримуватися державою (на думку академіків НАН України П. Ф. Гожика, Є. Ф. Шнюкова та В. М. Єремєєва). Ми сподіваємося, що Уряд, не залишить без уваги і цю проблему, допоможе успішно справитися з її рішенням. Сьогодні, коли Україна знаходить власне обличчя в міжнародному антарктичному співтоваристві, виступає з оригінальними ідеями, проектами і програмами, це особливо важливо.

Висновки. З викладеного нами матеріалу можна зробити наступні висновки:

1. Під час морських антарктичних експедицій українські вчені отримали можливість не тільки поглибити свої знання з геологічної будови Південного океану, але й внести свій доробок в теорію та практику вивчення шостого континенту.

2. Крім наукової цінності, експедиції мали також й геополітичне значення. Вони продемонстрували науковій спільноті, що геологи України готові не тільки вивчати спільну спадщину людства – Світовий океан, але й здатні інтегруватися в міжнародні наукові проекти.

3. Україна займає чільне місце в дослідженнях акваторії Південного океану, але потребує сучасних плавзасобів, що значно розширить її можливості в області морської геології, здобуті результати дадуть відповідь на багато питань, які на сьогодні потребують негайного вирішення.

1. Бибик В. А. Основные результаты морских экспедиционных исследований / В. Бибик, В. Усенко // Бюлетень Українського Антарктичного центру. – 1997. – Вип. 1. – С. 83 – 87. 2. Бюлетень Українського Антарктичного центру / Ред. П. Ф. Гожик. – К.: УАЦ, – 2002. – Ч. 1., вип. 4. – 267 с. 3. Гожик П. Ф. Геология и металлогения Южного океана / Гожик П. Ф., Орловський Г. Н., Митин Л. И. и др. – К., 1991. 4. Гожик П. Ф. Дослідження України в Антарктиці в плані проведення третього Міжнародного полярного року // Україна: географічні проблеми сталого розвитку. Т. 1. – К. – 2004. – С. 227 – 235. 5. Железомарганцевые конкреции Индийского океана / Шнюков Е. Ф., Орловський Г. Н., Клещенко С. А. и др.; под ред. Е. Ф. Шнюкова. – К., 1991. 6. Іванік О. М. Геолого – геоморфологічні дослідження східноантарктичних морів Південного океану / О. М. Іванік, П. Ф. Гожик. – К., 2002. 7. Митин Л. И. Кругосветная Антарктическая экспедиция / Л. И. Митин, П. Ф. Гожик // Геол. журн. – 1984. – т. 44., № 4. – С. 138 – 139. 8. Половка С. Г. Гідрографія на службі морської геології (до 80 – річчя від дня народження Л. І. Мітіна) / С. Г. Половка // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. – 2005. – № 2. – С. 167 – 169. 9. Половка С. Г. Міжнародне співробітництво в Антарктиці та місце в ньому України / С. Г. Половка // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2005. – № 1. – С. 48 – 52.

Надійшла до редколегії 03.12.09.

МІНЕРАЛОГІЯ, ГЕОХІМІЯ ТА ПЕТРОГРАФІЯ

УДК 551.71/.72+551.25:552.13(477)

О. Павлова, асист., О. Пономаренко, д-р геол. наук

**РЕТРОСПЕКТИВНИЙ СТРУКТУРОГЕНЕТИЧНИЙ ТА ГЕОТЕРМОХРОНОМЕТРИЧНИЙ
МОНІТОРИНГ МЕТАМОРФІЧНИХ ТА ТЕКТОНІЧНИХ ПОДІЙ У ДОКЕМБРІЇ
(НА ПРИКЛАДІ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА)***(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, доц. С.Є. Шнюковим)*

Розглянуто можливість застосування та складові моніторингу головних етапів метаморфізму та тектонічних подій докембрію на прикладі західного регіону Українського щита. Комплексне застосування структурогенетичних, мінералогічних та ізотопних геотермохронOMETРИЧНИХ досліджень дозволило відпрацювати методику виявлення стадійності та вікових інтервалів процесу динамотермального перетворення мінеральних асоціацій кристалічних порід докембрію.

In article view an occasion of application and componentry of monitoring of the main stages of metamorphism and tectonic events in Precambrian on an example of the western region of the Ukrainian shield. Complex application structuregenetic, mineralogy and isotopic Complex use of structure genetic, mineralogical and isotope geothermochronometric researches has allowed to fulfil a revealing of stages and age intervals of process of thermodynamic transformations of mineral associations of crystal rocks.

Вступ. Ця стаття присвячена визначенню можливості застосування принципу моніторингу (простежування послідовної зміни речовинного складу, фацій метаморфізму та співвідношення ізотопів деяких хімічних елементів у часі) для виявлення головних етапів метаморфічних та тектонічних перетворень порід у докембрії на прикладі західної частини Українського щита.

Головною особливістю територій розвитку регіонального та ареально-розломного метаморфізму у докембрії є те, що кристалічні породи в них неодноразово піддавалися дії термодинамічних процесів за температур і тисків, що відповідали амфіболітовій, епідот-амфіболітовій та зеленосланцевій фаціям метаморфізму [3, 6] в умовах крихких, крихко-пластичних та пластичних перетворень. Такі регіони та зони тектонічних порушень в них можна віднести до територій ретроградного поліфаціального метаморфізму і діафторезу, оскільки мінеральні асоціації кристалічних порід, що в них формуються, виникають за рахунок різновікових первинномагматичних і метаморфічних порід. Поряд зі зміною мінерального складу в цих породах відбувається також структурна перебудова, яка частково або повністю змінює первинний вигляд порід.

Поліфаціальні та діафторичні перетворення у докембрії, які є процесами неодноразовими, різновіковими, а інколи і різнонаправленими, можуть породжувати неоднозначність трактування тих чи інших геологічних подій. Наприклад, в рухомих зонах за режиму амфіболітової фації метаморфізму можуть формуватися або розгнейсовані породи, або тектоногнейси та тектоносланці, які без спеціального комплексу досліджень неможливо відрізнити від продуктів прогресивного регіонального метаморфізму та ультраметаморфізму первинноосадкових товщ [15, 16]. Такі утворення інколи потрапляють у стратиграфічні схеми як окремі тіла, або метаморфічні товщі із невизначеним суперечним стратиграфічним положенням [4]. Тому, метою означеної роботи є показ можливості визначення етапності та віку метаморфічних та тектонічних перетворень кристалічних порід за допомогою принципу ретроспективного моніторингу цих процесів у часі та просторі.

Постановка задачі та передумова. Основною задачею наукових досліджень виявився відбір головних напрямів моніторингу, визначення особливостей їх взаємозв'язку між собою, а також підбір можливої форми відображення отриманих результатів.

Передумовою вирішення поставленої задачі було: 1) петрографічне та мінералогічне дослідження кристалі-

чних порід та підбір критеріїв наявності, послідовності, характеру та рівня метаморфічних перетворень; 2) визначення можливості ізотопного датування цих процесів за етапами перетворення з використанням накопичених даних та за рахунок додаткових аналітичних досліджень; 3) визначення рівня інформативності та напрямків поповнення існуючого Петрографічного фонду України (літотек та баз даних до них) для цілей моніторингу.

Для вибору петрографічних складових моніторингу були задіяні зразки кристалічних порід по території досліджень та шліфи до них із Літотек петрофонду КНУ імені Тараса Шевченка та ІГМР ім. М.П. Семененка НАН України. Петрографічний, структурогенетичний та мікротектонічний аналізи, які були відпрацьовані на декількох об'єктах північно-західної частини УЩ [9, 10], проводилися на базі кафедри мінералогії, геохімії та петрографії геологічного факультету КНУ. Ізотопні дослідження циркону уран-свинцевим, а амфіболу й біотиту калій-аргоновим методами для вибору геохронометричних компонентів моніторингу були проведені в лабораторіях ІГМР ім. М.П. Семененка НАН України та університету Макварі (Сідней, Австралія).

На жаль, в останній час вважається, що калій-аргоновий метод, який широко використовується для датування магматичних та тектонічних подій у фанерозої, не прийнятний для докембрійських порід за наявності в них накладеної високотемпературної метаморфічної перекристалізації, яка змінює їх первісний мінеральний склад та текстурно-структурні параметри, а також призводить до порушення кристалічних решіток мінералів із зміною ізотопних співвідношень материнських та дочірніх радіоізотопів і, відповідно, до отримання ізотопних дат, які не відповідають часу первинного формування геологічних утворень. Це проявляється у "омолодженні" порід і відсутності збігу ізотопного віку біотитів та амфіболів, отриманих К-Аг методом, між собою та з ізохронним віком циркону із цих же порід, появи дискордантних значень ізотопного віку за цирконами тощо. Проте комплексний петрографічний, структурогенетичний та мінералого-геохімічний аналіз у поєднанні з геохронометричними даними, отриманими калій-аргоновим методом, можуть вирішити задачі моніторингу геологічних процесів у докембрії.

Вибір об'єктів та методів дослідження. З метою отримання цілісної картини еволюції тектонічних процесів були проведені комплексні петрографічні, мікротектонічні та структурогенетичні дослідження докембрійських кристалічних порід західної частини УЩ, у тому чи-

слі, що були перетворені в зонах діафторезу [9, 10]. В першу чергу це палеопротерозойські гранітоїди, амфіболіти та гнейси, тобто породи, що містять в своєму складі такі мінерали, як біотит, амфібол та акцесорні монацит і циркон. Також проведені мікрозондові дослідження складу й структури біотиту та циркону, вивчені ізотопний вік сингенетичних біотитів та амфіболів K-Ar методом. Ізохронний вік циркону корнинських та коростішівських гранітів визначений традиційним U-Pb ізохронним методом та за допомогою LAM ICP MS [12]. До інтерпретації отриманих даних залучені результати опублікованих досліджень [7, 14, 16].

Результати досліджень. Структурогенетичний та петрографічний напрям моніторингу. Петрографічними дослідженнями кристалічних порід було визначено, що докембрійські породи від часу утворення пройшли складну історію послідовних тектонічних та діафторичних перетворень, що відзеркалилися на їх мінеральному складі та структурно-текстурних ознаках. Найоптимальнішим напрямком відновлення еволюції структур та складу порід виявився зворотній (ретроспективний) – від останньої, або кінцевої, до початкової стадії перетворення, що реалізується при послідовному знятті слідів кожної з них. При цьому, останній (кінцевий) етап перетворення порід може фіксуватися звичайним катаклизмом (сухе динамічне перетворення) або катаклизмом з аргілізацією (низькотемпературне гідротермально-метасоматичне перетворення), а попередні стадії – серією послідовних (поступових або стрибкоподібних) перетворень в межах тектонічних порушень у більш високотемпературних (метаморфічних) режимах, що за мінеральними парагенезисами відповідають зеленосланцевій, епідот-амфіболітовій, або власне амфіболітовій (навіть гранулітовій) фаціям регіонального метаморфізму [3, 6, 15].

Діагностичними ознаками наявності *гідротермально-метасоматичного етапу* є прояв катаклазу породотворних мінералів, утворення кліважних просічок мілонітового характеру та площин міжзернового сковзання навколо польових шпатів та кварцу з формуванням очкових мілонітів. У катаклязованих породах відбувається гідратація слюд, аргілізація та серицитизація польових шпатів або сосюритизація плагіоклазів, по тріщинах сколювання формується тонкий катакlastичний агрегат силікатів, який при можливій циркуляції низькотемпературних (<300°C) гідротермально-метасоматичних розчинів може бути просякнутий відповідними новоутвореними мінералами.

Ознаками *зеленосланцевого етапу* перетворення є рекристалізація загальної маси порід із утворенням тонких кліважних просічок філоніту та наявність площин тектонічного сковзання між зернами породотворних мінералів з формуванням лінзоподібних та очкових текстур. В породах спостерігається мусковітизація та хлоритизація біотиту, аргілізація, серицитизація калієвих та натрій-кальцієвих польових шпатів або сосюритизація середніх та основних плагіоклазів, по площинах тектонічних сколів формується тонкий катакlastичний агрегат польових шпатів із новоутвореннями хлориту, мінералів групи епідоту, карбонатів тощо.

Діагностичними ознаками для виділення *епідот-амфіболітової стадії* перетворення є заміщення первинного більш високотемпературного парагенезису мінералів порід парагенезисом синьо-зеленої рогової обманки з біотитом, біотиту з мусковітом, кварцом, сфеном, кліноцоїзитом, наявність цих же мінералів у тектономатриці в тектонобластитах.

Ознаками *діафторичного амфіболітового етапу*, який найчастіше передуює описаним стадіям, є прояв

крихко-пластичної деформації порід при звичайному зсуві, або за умов зсуву із стисненням (транспресії) чи зсуву із розсувом (транстенсії), при яких кристали в породах механічно дробляться, перекристалізуються за механізмом "розчинення-перевідкладення", переорієнтовуються, регенеруються, гранулюються та новоутворюються в ділянках розтягу в мінеральних парагенезисах, рівноважних існуючим на той момент температурам і тискам.

Мікроскопічні та мікрозондові дослідження підтвердили, що під час тектогенезу мінерали тріскаються, катаклазуються, частково упорядковуються, регенеруються, заліковуються, а також урівноважуються відповідно до P-T умов та складу тріщинних флюїдів. Це стосується не тільки породотворних, але й акцесорних мінералів. Наприклад, раніше утворені кристали циркону, апатиту та сфену під час наступних етапів тектогенезу регенеруються, обрастаючи новими оболонками, а паралельно відбувається зародження та ріст нових більш молодих індивідів, відповідно, з новими співвідношеннями ізотопів [12].

Таким чином, проводячи регіональні петрографічні дослідження, за означеними критеріями можна виділити етапи метаморфічних та динамічних перетворень кристалічних порід та прослідкувати загальну еволюцію геологічних процесів на території, що досліджується.

Геохронометричний напрям моніторингу. Він визначається віком утворення породотворних (амфібол, біотит, калієві польові шпати) та акцесорних (циркон, монацит, сфен) мінералів з урахуванням особливостей аналітичних методів ізотопної геохронології та геохімічних процесів, що впливають на термофіксацію радіогенних елементів в кристалічних решітках мінералів. За даними Б.А. Калеганова та В.П. Макарова [5, 8], співвідношення урану до радіогенного свинцю в цирконах та калію до аргону в амфіболах при метаморфізмі при близькій температурі фіксації ізотопів в кристалічних решітках (>600 °C), визначають і однаковий вік їх утворення. Крім цього, дослідження акцесорних мінералів показали, що при повторному метаморфізмі, або при діафторезі за рахунок підвищеної рухомості ізотопів свинцю, в новоутворених цирконах, або в регенераційних оболонках навколо древніх зерен, співвідношення ізотопів U та Pb, як правило, порушене і не відповідає конкордії.

Експериментальними дослідженнями [1, 2, 5, 8] було доведено, що калійвмісні мінерали (біотит та амфібол) за досить короткий період прогрівання до температур, більших за температуру термофіксації ними радіогенного аргону, повністю його втрачають. Тому дослідниками вважається, що при регресивному метаморфізмі накопичення радіогенного Ar⁴⁰ в амфіболах, а, відповідно, і відлік часу його "утворення", починається при остиганні нижче 600 °C, а в біотитах – нижче 350 °C. Таким чином, вік, визначений K-Ar методом по амфіболу, фактично фіксує нижню температурну межу стадії амфіболітового та епідот-амфіболітового метаморфізму, а по біотиту – час виходу порід із режиму метаморфізму.

Така поведінка ізотопів в мінералах метаморфічно змінених порід привела до думки використання означеного явища для геохронометричного моніторингу тектонічних та метаморфічних подій з урахуванням температурного режиму системи, в якій вони відбуваються. При наявності в породах, що пройшли повний цикл метаморфічних перетворень, таких мінералів, як реліктовий циркон, новоутворений або регенерований циркон, монацит, амфібол, біотит (мусковіт), хлоритизований біотит, можна визначити такі параметри, як тривалість всього процесу метаморфізму або окремих його етапів (при T>300 °C) [11].

Розходження у визначенні віку калій-аргоновим методом по амфіболу та біотиту можна використовувати також для підрахунку швидкості остигання порід при ретроградному метаморфізмі, а також для визначення часу закінчення метаморфічних перетворень порід.

Відображення результатів структурогенетичного та термогеохронометричного моніторингу метаморфічних та тектонічних подій у докембрії можливе у вигляді створення карт-схем розповсюдження порід поліфаціального метаморфізму, окремих фацій метаморфізму, вікової еволюції та міграції ареалів метаморфічних процесів, визначення швидкості остигання та часу виходу окремих територій та зон діафторезу з режиму метаморфізму [11] тощо. Проте, необхідною умовою продовження таких робіт є розширення петрофону та пристосування його бази даних для потреб моніторингу [13]. Крім цього, аналіз існуючої бази даних геохронометрії докембрійських порід УЩ вказав на необхідність проведення регіональних робіт з К-Аг хронометрією усіх співіснуючих калійвмісних мінералів, що дозволить підвищити інформативність даних моніторингу.

Висновки. Вже перший досвід поєднання структурогенетичних та геотермохронометричних досліджень порід докембрії УЩ з метою ретроспективного моніторингу метаморфічних та тектонічних процесів у просторі й у часі підтвердив правильність вибору головних інформаційних напрямів – структурогенетичного, петрографічного та геохронометричного.

1. Петрографічна складова моніторингу, представлена фаціальним, структурогенетичним та мікротектонічним аналізами, які дозволяють об'єктивно оцінити етапність, інтенсивність, послідовність та температурний режим метаморфізму перетворення як окремих тіл кристалічних порід, так і цілих регіонів.

2. Геохронометричні дослідження дозволяють визначити вік окремих етапів тектонічного та метаморфічного перетворення порід, швидкість їх охолодження, а також виявити на площі довготривалі та найбільш термальноактивні ділянки діафторезу.

3. Комплексування структурогенетичних, мінералогічних та ізотопних геохронометричних досліджень докембрійських порід у регіональному масштабі дозволить більш об'єктивно простежити послідовність та характер метаморфічних та тектонічних подій у межах щита.

1. Батырмурзаев А.С. Миграция калия и радиогенного аргона в минералах. – Махачкала, 1982.
2. Брандт С.Б., Вороновский С.Н. Дегидратация и диффузия радиогенного аргона в слюдах // Изв. АН СССР, сер. геол., № 11, 1964.
3. Дислокаційна тектоніка та тектонофації докембрії Українського щита / О.І. Лукієнко, Д.В. Кравченко, А.В. Сухорада; за ред. В.А. Михайлова. – К., 2008.
4. Єсипчук К.Є., Бобров О.Б., Степанюк Л.М. та ін. Кореляційна хроностратиграфічна схема раннього докембрії Українського щита (пояснювальна записка). – Київ: УкрДГРІ, 2004.
5. Калеганов Б.А. О потере и поглощении аргона калийсодержащими минералами. – Препринт. Свердловск, УрО АН СССР, 1989.
6. Лукієнко О.І., Павлов Г.Г., Кравченко Д.В. "Біотитовий кліваж" у в'язкорозломних структурах Українського щита // Вісн. Київ. ун-ту. Геологія. – 2001. – Вип. 20. – С. 8-10.
7. Каталог изотопных дат пород Украинского щита / Щербак Н.П., Злобенко В.Г., Жуков Г.В. и др. – К., 1978.
8. Макаров В.П. О возможности существования аргоновых минералов // Электронный науч.-инф. журн. "Вестник отделения наук о Земле РАН", №1 (21), 2003.
9. Павлов Г., Павлова О., Бубнова О., Філіпов С. Мікротектонічний аналіз порфіроподібних гранітів північно-західної частини Українського щита // Вісн. Київ. ун-ту. Геологія, № 37, 2006. – С.29-31.
10. Павлов Г., Павлова О., Бубнова О. Еволюція мінерального складу та структури Мухарівських гранітоїдів Північно-західної частини Українського щита // Вісн. Київськ. ун-ту. Геологія, № 40, 2007. – С.14-18.
11. Пономаренко О.М., Павлов Г.Г., Павлова О.О. Калій-аргонова геохронометрія розломних зон докембрії Українського щита // Геохімія та рудоутворення. Зб. наук. пр., № 27, 2009.
12. Пономаренко А.Н., Павлов Г.Г., Павлова Е.А., Белоусова Е.А. Изотопная геохронология этапов структурно-минералогического преобразования докембрийских гранитов Украинского щита / В кн. Изотопные системы и время геологических процессов. Мат. IV Российской конф. по изотопной геохронологии, Т. II, г. Санкт-Петербург, 2-4 июля 2009 г. – С.П-б., 2009.
13. Пономаренко О.М., Павлов Г.Г., Павлова О.О., Гасанов Ю.Л. Геоінформаційні системи петрографії порід (на прикладі Українського щита) // Геоінформатика, №1, 2009. – С. 62-68.
14. Скобелев В.М. Петрохимия и геохронология докембрийских образований Северо-Западного района Украинского щита. – К., 1987.
15. Шевчук В.В., Павлов Г.Г. Взаємозв'язок деформаційних і кристалізаційних процесів під час метаморфізму / В кн. "Тектоника, минералогия, минеральные ресурсы. Сб. науч. работ Института геологии окружающей среды НАН и МЧС Украины. – Вып. – Том II., 2005. – С. 89-100.
16. Щербаков І. Б. Петрологія Українського щита. – Львів, 2005.

Надійшла до редколегії 04.12.09

ЕКОНОМІЧНА ГЕОЛОГІЯ

УДК 553.061

А. Бодюк, канд. економ. наук

НАПРЯМИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ ЕКОНОМІЧНОЇ ГЕОЛОГІЇ

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

Обґрунтовано напрями дослідження виробництва по розвідці надр, у тому числі ресурсів надр, економіки ресурсів, організаційного і правового забезпечення. Проаналізовано застосування груп методів геологічних, економічних, фінансових, товарознавчих, загальнотеоретичних, статистичних, розрахункових і балансових оцінок.

Directions of researches of geological slovelly are grounded, including resources of bowels of the earth, economy of resources, organizational and legal providing. Application of groups of methods of geological, economical, financial, theoretical, statistical, calculation and balance estimations is analysed.

Постановка проблеми. Цільовою функцією кожної науки є розкриття і пізнання відповідних об'єктивних законів природи чи суспільства. Тому вона накопичує й досліджує набуті у процесі історичного розвитку суспільства знання про об'єкти дослідження, користуючись загальнонауковими й притаманними тільки їй методами пізнання об'єктивної реальності у природі, суспільному виробництві.

Теоретичною основою економічної геології є відповідні положення праць філософів, вчених у галузі пошуку та розвідки корисних копалин, математичного моделювання й аналізу, економіки геологорозвідувальних робіт, науково-технічного прогресу, фінансів.

Нами відрізняються комплекс теоретичних положень досліджуваної економічної геології від теоретичних положень економіки господарського використання мінерально-сировинних ресурсів, економіки геологорозвідувальних робіт, геологічних підприємств.

Тому за теоретичну проблему слід визнати, зокрема, конкретизацію напрямів досліджень економічної геології з тим, щоб її виокремити від інших економічних наук.

Аналіз досліджень. Геологорозвідувальна діяльність також досліджує прояви законів природи у створенні надроресурсів, закони суспільства у їх господарському чи побутовому використанні. Такі дослідження, зокрема, проводяться науковцями в рамках економічної геології.

Дослідженням економічної геології присвячені праці І.Д. Андрієвського, О.Б. Боброва, С.А. Вижви, М.М. Коржнева, Е.А. Куліша, М.М. Курило, В.А. Михайлова, В.С. Міщенко, О.В. Плотникова та ін.

Зокрема, науковцями висвітлюються обґрунтування видів економічних оцінок в геології, задач і методів досліджень тощо.

Однак у їхніх публікаціях не приділялося належної уваги визначенню напрямів досліджень економічної геології з погляду геологічної діяльності як специфічної науково-виробничої.

Мета статті. Метою написання статті є обґрунтування понять напрямів економічної геології та методів їх досліджень.

Виклад основного матеріалу. Отже, економічна геологія, на наш погляд, має досліджувати проблеми надрозвідувального виробництва ресурсів, створення техніко-економічних і фінансових умов його розвитку й підвищення ефективності за такими напрямками.

1. Надроресурсний напрям:

- обґрунтування видів надроресурсів та їх комплексних характеристик;
- прогнозування потреб країни у корисних копалинах;
- прогнозування запасів джерел задоволення потреб країни у корисних копалинах;
- оцінка стану забезпечення потреб у надроресурсах суб'єктів господарювання;
- оцінка стану, динаміки, тенденцій та прогноз показників мінерально-сировинної бази країни, її країв;
- оцінка натуральними показниками запасів надроресурсів, зокрема стратегічних;
- геолого-ресурсні оцінки природного потенціалу країв України;
- ресурсна політика держави;
- інформаційне забезпечення економічних оцінок мінерально-сировинної бази України, її країв, ринків.

2. Економіко-ресурсний напрям:

- геолого-економічна оцінка конкретних видів та груп традиційних, нетрадиційних, вторинних і синтетичних корисних копалин;
- геолого-економічний аналіз та оцінка вартості наявних у надрах і прогнозних запасів корисних копалин;
- способи, методи і засоби зниження втрат корисних копалин;
- експорт та імпорт корисних копалин, продуктів їх обробки;
- державна політика у сприянні розвитку мінерально-сировинної бази в Україні.

3. Напрямок організаційно-правового забезпечення надрозвідувального виробництва:

- оцінка стану, динаміки, тенденцій та прогнозування мінерально-сировинного виробництва в країні;
- планування геологорозвідувальних робіт та його матеріально-технічного забезпечення;
- масштабування площ для проведення пошуково-оцінювальних і розвідувальних робіт;
- менеджмент надрозвідувального виробництва;
- маркетинг надрозвідувального виробництва;
- правове забезпечення надрозвідувального виробництва;
- виробниче споживання технічних, мінерально-сировинних ресурсів;
- науково-технічний прогрес у мінерально-сировинних комплексах;
- організація та економіка інноваційної діяльності у надрозвідувальному виробництві;

- економіка господарського використання мінеральної сировини;
- оптимізація й ефективність витрачання суб'єктами господарювання виробничих ресурсів;

- ресурсо-, енергозбереження на надрозвідувальному виробництві.

4. Фінансовий напрям:

- фінансування надрозвідувального виробництва;
- виконання фіскальних зобов'язань суб'єктами господарювання геологічної галузі;
- зниження й оптимізація витрат на видобуток, транспортування, зберігання надроресурсів;
- ціноутворення на продукти видобутку та вплив їх цін на фінансові результати геологічних суб'єктів господарювання.

5. Економіко-організаційний напрям:

- економіко-ресурсний аспект праці найманого персоналу на надрозвідувальному виробництві, його стимулювання;
- планування, організація використання суб'єктами господарювання виробничих ресурсів;
- облік, аналіз і контроль наявності, руху та використання надроресурсів і виробничих ресурсів;
- економіко-геологічний контроль;
- інформаційне та правове забезпечення функціонування мінерально-сировинного комплексу тощо.

6. Екологічний напрям:

- економічні оцінки впливу видобутку й переробки мінеральної сировини на довкілля;
- оцінки порушення породного масиву внаслідок ведення гірничих робіт;
- оцінки накопичення відходів надрозвідувального виробництва;
- оцінки порушення гідрогеологічного режимів територій;
- економіка техногенної геоморфології;
- створення антропогенних морфоструктур;
- процеси ерозії, гравітаційного переміщення, дегазації, вилучення, окислювання;
- процеси формування техногенних біогеоценозів;
- економіка створення шламосховищ;
- екологічна реабілітація територій та ін.

За цими напрямками науково-дослідницька діяльність у геологічній галузі має бути спрямована на вивчення і оцінку запасів корисних копалин, економіки застосування техніки їх геологорозвідки, показників поліпшення якості, видобутку сировини, енергозбереження на технологічних процесах, розробки рекомендацій з ефективного включення ресурсів у суспільне виробництво і геологічного контролю за надрокористуванням.

Відповідно до визначених напрямів мають застосовуватися певні методи дослідження економічної геології. За об'єктивними й суб'єктивними підходами проведені теоретичні дослідження потреб у надроресурсах, особливостей надрозвідувального виробництва і праці його фахівців.

Методи слід поділити на такі групи:

- 1) геолого-економічних оцінок (власні);
- 2) фінансово-економічних оцінок;
- 3) товарознавчі;
- 4) загальнотеоретичні;
- 5) статистичні;
- 6) розрахунково-балансові.

Надроресурсну базу країни вивчають за допомогою власних методів геолого-економічних оцінок. Отриману інформацію за стан сировини та надр її розміщення і ви-

добутку вивчають за допомогою фінансово-економічних оцінок і загальнотеоретичних методів досліджень.

До геолого-економічних оцінок належать методи, що забезпечують:

- комплекси узагальнюючих геологозйомочних, прогнозно-металогенічних і пошуково-розвідувальних робіт, за допомогою яких здійснюються геолого-економічні оцінки мінерально-сировинних ресурсів літосфери, її складових, рудних районів і рудних полів, окремих родовищ і прояви корисних копалин;

- інженерно-геологічне вивчення і геолого-економічну оцінку геологічного простору, за допомогою яких визначаються потреби у будівництві великих інженерних споруд, житлових приміщень, рекультивації територій і т. ін.;

- еколого-геологічні дослідження та геолого-економічні оцінки екологічних збитків від господарського використання надр під час видобутку корисних копалин, за іншої діяльності, пов'язаної з використанням надр [2].

До фінансово-економічних оцінок належать методи визначення очікуваних показників собівартості, рентабельності видобутку сировини, застосування техніки й технологій пошуково-розвідувальних робіт, економічної цінності конкретних видів корисних копалин для країни, на світовому ринку.

До загальнотеоретичних належать методи: діалектичний і структурно-функціональний, економіко-статистичні, кількісного, якісного та фінансового аналізу, графічне моделювання, порівняння.

Для обґрунтування теоретичних викладок за результатами досліджень необхідні діалектичний і структурно-функціональний методи. Економіко-статистичні методи використовуються для дослідження стану ресурсної бази країни моделювання потреб у ресурсах, прогнозування їх показників.

Кількісний та якісний аналіз рекомендовано для оцінок життєвих ресурсів найманих працівників геологічної галузі.

Методи фінансового аналізу, зокрема документально-екстраполяційні, застосовуються для оцінок виконання ресурсокористувачами фіскальних зобов'язань.

Методами графічного моделювання відображаються теоретичні положення по темі досліджень, класифікація понять. Табличними й графічними методами відображають динаміку і структуру статистичних показників мінерально-ресурсної бази країни та виконання фіскальних зобов'язань ресурсокористувачів.

Товарознавчі методи застосовуються для якісних оцінок показників потребово-природних властивостей (так пропонується їх називати) корисних копалин на предмет їх придатності для виробничого чи побутового використання. За товарознавчими оцінками обчислюються вартісні оцінки, у тому числі ринкові ціни родовищ, корисних копалин.

До товарознавчих методів належать: хімічний, фізичний, вимірювальний (з застосуванням технічних засобів вимірювань), реєстраційний (реєстрація і підрахунок числа проявів), розрахунковий (визначення показників за іншими відомими показниками), органолептичний (застосування органів сприйняття інформації людини), диференціальний (порівняння окремих властивостей з однорідними базовими показниками), експертний, ком-

плексний (оцінка за допомогою узагальненого показника), змішані (частина показників об'єднують у групи, для кожної з яких визначають узагальнений показник), прийняття рішень.

У числі інших методів слід назвати картографування, економічне районування, системний аналіз та ін.

Як окремий пропонується виділити розрахунково-балансовий метод.

До статистичних належать методи групування, середніх величин, темпів зростання, приростів кореляційного аналізу та ін.

Проведення пошуково-розвідувальних досліджень, геологічного контролю, застосування тих чи інших методів потребують певної нормативно-правової та інформаційної бази.

Нормативно-правову базу економічної геології складають Конституція України, Кодекс України про надра, Кодекс України про працю, закони України, постанови Кабінету Міністрів України, що регулюють надкористування, фіскальні зобов'язання надкористувачів, енергозбереження, державний (фіскальний) контроль надкористування.

Інформаційну базу для досліджень складають Закони України, укази Президента України, постанови і розпорядження Кабінету Міністрів України, накази, інструктивно-методичні матеріали Міністерство охорони навколишнього природного середовища України, Міністерства фінансів України, Державної податкової адміністрації України, інших міністерств та центральних органів державного управління з питань регулювання надроресурсного виробництва, підприємництва у природно-ресурсних галузях.

За інформаційну базу також слугують профільні наукові праці вітчизняних та зарубіжних учених, матеріали науково-дослідних закладів, офіційні нормативно-довідникові акти та статистичні дані за стан мінерально-ресурсної бази країни та фіскальних платежів.

Висновки. Таким чином, узагальнено за метод наукового дослідження надророзвідувального виробництва слід прийняти метод геолого-економічних оцінок мінерально-сировинної бази та потребових оцінок її господарського використання.

Прикладними методами досліджуються перспективи розвідки надроресурсів (корисних копалин і підземного середовища), їх природні особливості, кількісні та якісні оцінки, економічну оцінку затрат на їх теоретичні дослідження, регіональне геологічне вивчення територій, пошук та пошукову оцінку родовищ корисних копалин, геологорозвідку родовищ корисних копалин, вилучення їх з природного середовища, а також ринкових цін родовищ і корисних копалин.

Викладені положення доцільно використати для розробки теорії економічної геології.

1. Конституція України: Прийнята на п'ятій сесії Верховної Ради України 28 червня 1996 року. – К., 2006. (із змінами). 2. Основи економічної геології: Навч. посіб. /М.М. Коржнев, В.А. Михайлов, В.С. Міщенко та ін. – К., 2006. 3. Ангелогов П.І. Застосування геоінформаційних систем у процесі технічної інвентаризації мереж водопостачання та водовідведення/ Інженерна геодезія: Наук.-тех. зб. – Вип. 54 / С.П. Войтенко. – К., 2008.

Наукове видання



ВІСНИК
КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

ГЕОЛОГІЯ

Випуск 50

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 27.05.10. Формат 60x84^{1/8}. Вид. № 165. Гарнітура Arial. Папір офсетний.
Друк офсетний. Наклад 300. Ум. друк. арк. 7,0. Обл.-вид. арк. 10,0. Зам. № 210-5263.

Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет"
01601, Київ, б-р Т. Шевченка, 14, кімн. 43,
☎ (044) 239 32 22; (044) 239 31 72; (044) 239 31 58; факс (044) 239 31 28
E-mail: vpc@univ.kiev.ua