

***Присвячується  
180-річчю Київського національного університету  
імені Тараса Шевченка  
70-річчю Геологічного факультету***

***To the 180th anniversary of Taras Shevchenko  
National University of Kyiv  
the 70th anniversary of the Geological Faculty***



УДК 504+550+551+552+624

Наведено результати геологічних, стратиграфічних, палеонтологічних, гідрогеологічних, геофізичних і геоінформаційних досліджень викладачів і наукових співробітників ННІ "Інститут геології" Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Для викладачів, наукових співробітників, аспірантів і студентів.

Приведены результаты геологических, стратиграфических, палеонтологических, гидрогеологических, геофизических и геоинформационных исследований преподавателей и научных сотрудников УНИ "Институт геологии" Киевского национального университета имени Тараса Шевченко.

Для преподавателей, научных сотрудников, аспирантов и студентов.

Published are the results of geological, stratigraphic, paleontological, hydrogeological, geophysical and geoinformation research carried out by the academic staff and scientists of the Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv. For scientists, professors, graduate and postgraduate students.

Відповідальний за випуск О.І. Меньшов

|                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ВІДПОВІДАЛЬНИЙ РЕДАКТОР</b> | В.А. Михайлов, д-р геол. наук, проф.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ</b>      | І.М. Безродна, канд. геол. наук, с.н.с. (заст. відп. ред.); О.І. Меньшов, канд. геол. наук (відп. секр.); С.А. Вижва, д-р геол. наук, проф.; З.О. Вижва, д-р фіз.-мат. наук, проф.; В.М. Гулій, д-р геол. наук, проф.; М.Н. Жуков, д-р геол. наук, проф.; В.М. Загнітко, д-р геол.-мінералог. наук, проф.; О.М. Іванік, д-р геол. наук, доц.; 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, д-р геол. 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.; О.В. Митрохин, д-р геол. наук, доц.; П.О. Міненко, д-р фіз.-мат. наук; В.А. Нестеровський, д-р геол. наук, проф.; В.В. Огар, д-р геол. наук, доц.; М.І. Орлюк, д-р геол. наук, с.н.с.; 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.; В.В. Шевчук, д-р геол.-мінералог. наук, проф.; С.Є. Шнюков, д-р геол. наук, доц.; Т.В. Пастушенко, канд. філол. наук, доц.; Т.А. Мірончук, канд. філол. наук, доц.<br>Іноземні члени редакційної колегії:<br>М. Бур'яник, Шелл Глобал Солюшн Інтернешнл, Нідерланди; Л. Верник, Нафтова корпорація Маратон, США; А. Веснавер, Італійський національний інститут океанографії та прикладної геофізики, Італія; К. Зенг, Китайський геологічний університет; Китай, М. Короновський, Московський державний університет імені М.В. Ломоносова; Росія, Д. Ленц, Університет Нью-Брансвік, Канада; К. Лі, Китайський геологічний університет, Китай; М. Олівія, Лісабонський університет, Португалія; П. Перейра, Університет Миколаша Ромеріса, Литва; В. Портнов, Карагандинський Державний Технічний Університет, Казахстан; Д. Робертс, Стаффордширський університет, Велика Британія; С. Спассов, Геофізичний центр Доурбес, Бельгія; М. Феді, Неапольський Університет Федеріко II, Італія; О. Ханчук, Далекосхідний геологічний інститут, Росія |
| <b>Адреса редколегії</b>       | 03022, Київ-22, вул. Васильківська, 90, ННІ "Інститут геології",<br>☎ 380442597030, електронна адреса: geolvisnyk@ukr.net                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Затверджено</b>             | Вченою радою ННІ "Інститут геології"<br>9 грудня 2014 року (протокол № 5)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Атестовано</b>              | Вищою атестаційною комісією України.<br>Постанова Президії ВАК України<br>№ 1-05/6 від 12.06.02                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Зареєстровано</b>           | Міністерством юстиції України.<br>Свідоцтво про Державну реєстрацію КВ № 16181-4653Р від 25.12.09                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Засновник та видавець</b>   | Київський національний університет імені Тараса Шевченка,<br>Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет"<br>Свідоцтво внесено до Державного реєстру<br>ДК № 1103 від 31.10.02                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Адреса видавця</b>          | 01601, Київ-601, 6-р Т.Шевченка, 14, кімн. 43<br>☎ (38044) 239 31 72, 239 32 22; факс 239 31 28                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

UDC 504+550+551+552+624

Published are the results of geological, stratigraphic, paleontological, hydrogeological, geophysical and geoinformation research carried out by the academic staff and scientists of the Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv. For scientists, professors, graduate and postgraduate students.

Наведено результати геологічних, стратиграфічних, палеонтологічних, гідрогеологічних, геофізичних і геоінформаційних досліджень викладачів і наукових співробітників ННІ "Інститут геології" Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Для викладачів, наукових співробітників, аспірантів і студентів.

Приведены результаты геологических, стратиграфических, палеонтологических, гидрогеологических, геофизических и геоинформационных исследований преподавателей и научных сотрудников УНИ "Институт геологии" Киевского национального университета имени Тараса Шевченко.

Для преподавателей, научных сотрудников, аспирантов и студентов.

Chief publication manager O. Menshov

Formatting and adjustment by Yu. Tymchenko

|                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| EXECUTIVE EDITOR         | V. Mykhailov, Dr. Sci. (Geol.), Prof.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| EDITORIAL BOARD          | <p>Ukrainian members:</p> <p>I. Bezrodna, Cand. Sci. (Geol.), Senior Researcher (Deputy Executive Editor); O. Menshov, Cand. Sci. (Geol.), (Executive Secretary); S. Vyzhva, Dr. Sci. (Geol.), Prof.; Z. Vyzhva, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Assoc. Prof.; V. Guliy, Dr. Sci. (Geol.), Prof.; M. Zhukov, Dr. Sci. (Geol.), Prof.; V. Zagnitko, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof.; O. Ivanik, Dr. Sci. (Geol.), Assoc. Prof.; O. Karpenko, Dr. Sci. (Geol.), Prof.; M. Korzhnev, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof.; I. Korchagin, Dr. Sci. (Phys.-Math.); O. Koshliakov, Dr. Sci. (Geol.), Assoc. Prof.; V. Kurganskyi, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof.; O. Lukienko, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof.; B. Maslov, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.; O. Mytropolskyi, Corr. NAS Ukraine, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof.; O. Mytrokhyn, Dr. Sci. (Geol.), Assoc. Prof.; P. Minenko, Dr. Sci. (Phys.-Math.); V. Nesterovskiy, Dr. Sci. (Geol.), Prof.; V. Ohar, Dr. Sci. (Geol.), Assoc. Prof.; M. Orluk, Dr. Sci. (Geol.), Senior Researcher; V. Pavlyshyn, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof.; G. Prodaivoda, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.; M. Tolstoy, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof.; V. Shevchuk, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof.; S. Shniukov, Dr. Sci. (Geol.), Assoc. Prof.; T. Pastushenko, Cand. Sci. (Phil.), Assoc. Prof.</p> <p>Foreign members:</p> <p>M. Burianyk, Shell Global Solutions International, Netherlands; L. Vernik, Marathon Oil Company, USA; A. Vesnaver, Italian National Institute of Oceanography and Applied Geophysics, Italy; Q. Zeng, China University of Geosciences, China; M. Koronovskiy, Lomonosov Moscow State University, Russia; D. Lentz, University of New Brunswick, Canada; Q. Liu, China University of Geosciences, China; M. Olivia, University of Lisbon, Portugal; P. Pereira, Mykolas Romeris University, Lithuania; V. Portnov, Karaganda State Technical University, Kazakhstan; D. Roberts, Staffordshire University, Great Britain; S. Spassov, Geophysical Center of Dourbes, Belgium; M. Fedi, University of Naples Federico II, Italy; O. Khanchuk, Far East Geological Institute, Russia.</p> |
| Address                  | Institute of Geology, 90 Vasylykivska Str., Kyiv, Ukraine, 03022, tel. +3804425970306, e-mail: geolvisnyk@ukr.net                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Approved by the          | Academic Council of the Institute of Geology<br>December 9, 2014 (Minutes # 5)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Certified by the         | Higher Attestation Board<br>(the State Commission for Academic Degrees and Titles), Ukraine<br>Edict # 1-05/6 issued on 12.06.2002                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Certified by the         | Ministry of Justice of Ukraine<br>State Certificate # 16181-4653P issued on 25.12.2009                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Founded and published by | Taras Shevchenko National University of Kyiv,<br>Kyiv University Publishing<br>State Certificate # 1103 issued on 31.10.2012                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Address:                 | Office 43, 14 Shevchenka Blvd, Kyiv, 01601<br>☎ (38044) 239 31 72, 239 32 22; Fax 239 31 28                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |

---

## ЗМІСТ

---

### ЗАГАЛЬНА ТА ІСТОРИЧНА ГЕОЛОГІЯ

|                                                                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Попова Л.</b>                                                                                                                                                 |    |
| Готеривські органогенні споруди правобережжя р. Бодрак, Гірський Крим.....                                                                                       | 8  |
| <b>Огієнко О.</b>                                                                                                                                                |    |
| Видове різноманіття та екологічні особливості діатомових комплексів з поверхневого шару донних відкладів Західної Антарктики (район Аргентинських островів)..... | 14 |
| <b>Мазко А.</b>                                                                                                                                                  |    |
| Ранньо- і пізньосингранітаційні бластомілоніти Первомайської зони розломів .....                                                                                 | 19 |
| <b>Андрієць Т.</b>                                                                                                                                               |    |
| Реконструкція тектонічної еволюції вулкана Синяк (Вигорлат-Гутинське вулканічне пасмо) в постмагматичні етапи за даними структурно-морфометричного аналізу ..... | 23 |

### МІНЕРАЛОГІЯ, ГЕОХІМІЯ ТА ПЕТРОГРАФІЯ

|                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Шнюков С., Лазарєва І., Никанорова Ю., Морозенко В.</b>                                                                    |    |
| Подібність і відмінності ореолів фенітизації Пенченгінського та Чернігівського карбонатитових масивів .....                   | 28 |
| <b>Митрохин О., Вишневська Є., Гаценко В., Михальченко І.</b>                                                                 |    |
| Геологічна позиція та речовинний склад пікритів Новоукраїнського дайкового поля (Інгульський мегаблок Українського щита)..... | 33 |

### ГЕОФІЗИКА

|                                                                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Вижва С., Онищук Д., Онищук В., Пастушенко Т.</b>                                                                                    |    |
| Електричні властивості порід кембрію Волино-Поділля .....                                                                               | 38 |
| <b>Карпенко І., Карпенко О., Башкіров Г.</b>                                                                                            |    |
| Петрофізичні передумови оцінки вмісту керогену в гірських породах за даними промислової геофізики .....                                 | 44 |
| <b>Безродний Д., Ткачов Л., Безродна І.</b>                                                                                             |    |
| Вивчення характеру пружної анізотропії плагіомігматитів Криворізької надглибокої свердловини за даними петроакустичних досліджень ..... | 49 |
| <b>Меньшов О., Карпенко О.</b>                                                                                                          |    |
| Магнітні дослідження при пошуках покладів вуглеводнів нетрадиційного типу. Постановка задачі.....                                       | 55 |
| <b>Тройніч К., Матвійчук Б., Вижва С.</b>                                                                                               |    |
| Геофізична томографія: сучасний стан і перспективи впровадження для вирішення завдань нафтогазової геології .....                       | 59 |

### ГЕОЛОГІЯ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН

|                                                                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Дячков Б., Черненко З., Мізерна М., Теут Є.</b>                                                                             |    |
| Інноваційний підхід до виділення перспективних площ на золоте зруденіння на території Західної Калби (Східний Казахстан) ..... | 64 |
| <b>Дудніков М., Михайлов В.</b>                                                                                                |    |
| Газоносність ущільнених порід Артемівської площі в південно-східній частині Дніпровсько-Донецької западини .....               | 73 |

### ГІДРОГЕОЛОГІЯ, ІНЖЕНЕРНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ

|                                                                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Удалов І., Чомко Д.</b>                                                                                                                                       |    |
| Еколого-гідрогеологічні дослідження у зв'язку з "микрою" консервацією вугільних шахт (на прикладі Алмазно-Мар'їнського гірничопромислового району Донбасу) ..... | 78 |
| <b>Шевчук Л.</b>                                                                                                                                                 |    |
| Вплив геохімічних умов на зміни хімічного складу підземних вод (на прикладі водозаборів Луганської області).....                                                 | 82 |

---

## CONTENTS

---

### GENERAL AND HISTORICAL GEOLOGY

|                                                                                                                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Popova L.</b><br>Hauterivian Biogenic Buildups of the Bodrak River Right Bank Area, Crimean Mountains.....                                                                           | 8  |
| <b>Ogienko O.</b><br>Species Diversity and Ecological Features of Diatom Assemblages from the Surface Layer<br>of the Western Antarctic Bottom Deposits (the Argentinean Islands) ..... | 14 |
| <b>Mazko A.</b><br>Early and Late Synchrogranitization Blastomylonites in Pervomaiska Fault Zone .....                                                                                  | 19 |
| <b>Andriiets T.</b><br>Tectonic Evolution of Mount Syniak (the Vyhorlat-Hutyn Volcanic Chain) in Postmagmatic Stages:<br>A Reconstruction Based on Structural Morphometry .....         | 23 |

### MINERALOGY, GEOCHEMISTRY AND PETROGRAPHY

|                                                                                                                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Shnyukov S., Lazareva I. Nykanorova Yu., Morozenko V.</b><br>Penchenga and Chernihovka Carbonatite Massifs Fenitization Halos: Similarities and Differences .....                                     | 28 |
| <b>Mitrokhin A., Vishnevskaya E., Gatsenko V., Mihalchenko I.</b><br>Geological Position and Composition of Picrites from the Novoukrainka Dyke Field<br>(Ingul Megablock of the Ukrainian Shield) ..... | 33 |

### GEOPHYSICS

|                                                                                                                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Vyzhva S., Onyshchuk D., Onyshchuk V., Pastushenko T.</b><br>Electrical properties of Cambrian rocks in Volyno-Podillia .....                                           | 38 |
| <b>Karpenko I., Karpenko O., Bashkirov G.</b><br>Petrophysical Approach to Determination of Kerogen Content in Rocks Based on Well-logging Data .....                      | 44 |
| <b>Bezrodnyi D., Tkachov L., Bezrodna I.</b><br>Elastic Anisotropy of Plagio-migmatite Core Samples from Kryvoriz'ka Ultradeep Well:<br>A Petroacoustic Investigation..... | 49 |
| <b>Menshov O., Karpenko O.</b><br>Magnetic Methods in Unconventional Hydrocarbon Exploration: Setting the Objectives .....                                                 | 55 |
| <b>Troinich K., Matviychuk B., Vyzhva S.</b><br>Geophysical Tomography: Current State and Implications for the Petroleum Geology Industry.....                             | 59 |

### MINERAL RESOURCES

|                                                                                                                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Diachkov B., Chernenko Z., Mizernaya M., Teut E.</b><br>Identifying Prospective Gold Mineralization Areas in Western Kalba (Eastern Kazakhstan):<br>an Innovative Approach ..... | 64 |
| <b>Dudnikov M., Mykhailov V.</b><br>Gas Content of the Artemivsk Area Tight Rocks in the South-Eastern Dnieper-Donetsk Depression .....                                             | 73 |

### HYDROGEOLOGY, ENGINEERING AND ENVIRONMENTAL GEOLOGY

|                                                                                                                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Udalov I., Chomko D.</b><br>Ecological and Hydrogeological Research on "Wet" Preservation of Coal Mines<br>(A Case Study of Almazno-Mar'yvsky Mining and Industrial Region, Donbass) ..... | 78 |
| <b>Shevchuk L.</b><br>Geochemical Environment and Changes in Groundwater Chemistry<br>(A Case Study of Groundwater Intake in Luhanska Oblast) .....                                           | 82 |

---

## СОДЕРЖАНИЕ

---

### ОБЩАЯ И ИСТОРИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ

|                                                                                                                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Попова Л.</b><br>Готеривские органогенные постройки правобережья р. Бодрак, Горный Крым.....                                                                                                   | 8  |
| <b>Огиенко О.</b><br>Видовое разнообразие и экологические особенности диатомовых комплексов из поверхностного слоя<br>донных отложений Западной Антарктики (район Аргентинских островов).....     | 14 |
| <b>Мазко А.</b><br>Ранние и поздние сингранитизационные бластомилониты Первомайской зоны разломов .....                                                                                           | 19 |
| <b>Андриец Т.</b><br>Реконструкция тектонической эволюции вулкана Синяк (Выгорлат-Гутинская вулканическая гряда)<br>в постмагматические этапы по данным структурно-морфометрического анализа..... | 23 |

### МИНЕРАЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ И ПЕТРОГРАФИЯ

|                                                                                                                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Шнюков С., Лазарева И., Никанорова Ю., Морозенко В.</b><br>Сходство и различия ореолов фенитизации Печенгинского и Черниговского карбонатных массивов .....                                       | 28 |
| <b>Митрохин А., Вишневская Е., Гаценко В., Михальченко И.</b><br>Геологическая позиция и вещественный состав пикритов Новоукраинского дайкового поля<br>(Ингульский мегаблок Украинского щита) ..... | 33 |

### ГЕОФИЗИКА

|                                                                                                                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Выжва С., Онищук Д., Онищук В., Пастушенко Т.</b><br>Электрические свойства пород кембрия Волыно-Подолья .....                                                                             | 38 |
| <b>Карпенко И., Карпенко А., Башкиров Г.</b><br>Петрофизические предпосылки оценки содержания керогена в горных породах<br>по данным промысловой геофизики.....                               | 44 |
| <b>Безродный Д., Ткачов Л., Безродная И.</b><br>Изучение характера упругой анизотропии плагиомигматитов Криворожской сверхглубинной скважины<br>по данным петроакустических исследований..... | 49 |
| <b>Меньшов А., Карпенко А.</b><br>Магнитные исследования при поисках залежей углеводородов нетрадиционного типа. Постановка задачи .....                                                      | 55 |
| <b>Тройнич К., Матвийчук Б., Выжва С.</b><br>Геофизическая томография: современное состояние и перспективы внедрения<br>для решения задач нефтегазовой геологии .....                         | 59 |

### ГЕОЛОГИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

|                                                                                                                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Дьячков Б., Черненко З., Мизерная М., Теут Е.</b><br>Инновационный подход к выделению перспективных площадей на золотое оруденение<br>на территории Западной Калбы (Восточный Казахстан) ..... | 64 |
| <b>Дудников Н., Михайлов В.</b><br>Газоносность уплотненных пород Артемовской площади в юго-восточной части<br>Днепро-Донецкой впадины.....                                                       | 73 |

### ГИДРОГЕОЛОГИЯ, ИНЖЕНЕРНАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ

|                                                                                                                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Удалов И., Чомко Д.</b><br>Эколого-гидрогеологические исследования в связи с "мокрой" консервацией угольных шахт<br>(на примере Алмазно-Марьевского горнопромышленного района Донбасса)..... | 78 |
| <b>Шевчук Л.</b><br>Влияние геохимических условий на изменения химического состава подземных вод<br>(на примере водозаборов Луганской области) .....                                            | 82 |

ЗАГАЛЬНА ТА ІСТОРИЧНА ГЕОЛОГІЯ

УДК 563.6.001.33

Л. Попова, канд. геол. наук, старш. наук. співроб.,  
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,  
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна,  
E-mail: popovalv@mail.ru

ГОТЕРИВСЬКІ ОРГАНОГЕННІ СПОРУДИ ПРАВОБЕРЕЖЖЯ Р. БОДРАК, ГІРСЬКИЙ КРИМ

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

Проаналізовано фактори впливу на розташування органогенних споруд у нижній крейді Гірського Криму. Для випадку споруд готеривського палеобасейну на основі опублікованих різними авторами даних обрано дві альтернативні гіпотези, що найбільше відповідають усім існуючим фактам: аноксична гіпотеза і гіпотеза посиленого теригенного зносу як похідної нерівномірної тектоніки і перепадів рельєфу. Із цих двох гіпотез гіпотеза теригенного зносу, пов'язаного з активною тектонікою, може бути протестована за допомогою методів, що застосовуються в ході геологічної з'їмки органогенних споруд. А саме, якщо при трансгресивному взаєморозташуванні споруд або частин споруди виявиться тенденція до уповільнення або припинення росту споруд чи зростання частки теригенного матеріалу у складі рифогенного вапняку, гіпотезу теригенного зносу можна вважати підтвердженою. У даній роботі для такого тестування було використано метод висотної арфи і побудову фаціальних профілів для ранньоготеривських споруд правобережжя р. Бодрак. На цьому матеріалі було показано, що трансгресія під час існування споруд справді відбувалась, але темпи її цілком помірні. Підйом рівня моря за досліджений проміжок часу (який відповідає не більше, ніж двом амонітовим зонам) становив 5–10 м, причому ті частини споруд, що відповідають високому стоянню рівня моря, не відображають ознак пригнічення, навпаки, спостерігається класичний варіант позитивної залежності між ростом коралів і зануренням території.

Таким чином, для пояснення деградації коралових угруповань у готериві Південно-Західного Криму залишається тільки аноксичний сценарій. Проявлена протягом усієї крейди тенденція витіснення коралів з адаптивної зони біогермоутворювачів, спричинена (аналогічно ситуації сучасних рифів) глобальним потеплінням, призводила до руйнування структури коралових угруповань, перш за все за рахунок пригнічення еукаріотичної гетеротрофної складової. Наслідком цього були аноксичні події (у даному випадку локальні, пов'язані з міжбіогермними западинами, а пізніше і глобальні).

Показано, що готеривські органогенні споруди межиріччя Бодрака й Альми належать до споруд відмілених седиментаційних бар'єрів, для яких характерне розташування на невеликих глибинах, але далеко від суходолу, відсутність добре виражених грубоуламкових шлейфів споруд, швидка міграція споруд по латералі, наявність достатньо екранованих від хвиль ділянок. Додатково ускладнювало палеогеографічну ситуацію в басейні те, що розташування споруд контролювалося виходами інтрузій, які становили сприятливий для поселення коралів субстрат.

Ключові слова: готерив, органогенні споруди, Південно-Західний Крим.

**Постановка проблеми.** Практичне значення досліджень викопних органогенних споруд пов'язано з потребами нафтогазової геології. Органогенні споруди представляють собою один із найбільш перспективних, хоча і складно прогнозованих, колекторів. Крім звичайного комплексу факторів, що контролюють вуглеводневий поклад (як наявність склепіння, непроникної покрівлі тощо), вони додатково обумовлювалися **закономірностями існування організмів-біогермоутворювачів, палеогеографією і комплексом фаціальних умов басейну**, в якому вони існували. З'ясування цих закономірностей для споруд раннього готериву правобережжя р. Бодрак (Південно-Західний Крим) є метою даної роботи.

**Загальна характеристика фаціальних умов у беріас-баремському басейні на території сучасного Гірського Криму.** Теплий мілководний беріас-баремський басейн на території сучасного Гірського Криму характеризувався значним поширенням невеликих водоростево-коралових біогермів, розташованих смугою, що поступово мігрувала з півдня на північ, продовжуючи тенденцію, яка існувала ще з юрського часу ([4, 6], рис. 16). Коралові угруповання існували в умовах трансгресії [1, 2, 4], що розповсюджувалась у напрямку Сімферопольського суходолу з палеобасейну, розташованого в межах сучасної Головної гряди Кримських гір, тобто в найбільш загальних рисах палеогеографічну ситуацію слід вважати сприятливою для росту органогенних споруд. Однак згадана смуга споруд розірвана на окремі фрагменти, оскільки формування біогермів, крім добре відомого впливу тектонічного фактора, контролюється цілим комплексом умов: рельєфом дна, солоністю, течіями, кількістю теригенного матеріалу, що надходив до басейну (унаслідок чого для розселення склерактиній непридатними були пригирлові ділянки) тощо. Зменшення розмірів окремих біогермів і площ їхнього поширення [2, 6] створює враження, що протягом неокому цей ком-

плекс умов на території Криму поступово ставав усе менш сприятливим. Який же внесок динаміки кожного зі згаданих факторів у формування коралових споруд у готериві Південно-Західного Криму?

**1. Теригенний знос і опріснення.** Крім тектонічної або евстатичної ситуації, причинами пригнічення готеривських коралових угруповань могли бути опріснення і теригенний знос – фактори часто взаємопов'язані, оскільки впадіння річки в морський басейн викликає обидва наслідки. Можливо, саме так пояснюється розірваність смуги біогермів у верхів'ях Салгіра, оскільки тут для неокому показано поширення дельтових відкладів [5]. Однак впадіння в палеобасейн річки – фактор потужний, але локальний; він не впливав на біогерми всіх частин палеоакваторії.

Є. Ю. Барабошкін пропонує опріснення і теригенний знос як причину загибелі Первомайського рифу [1], який відслонюється в діоритовому кар'єрі на правобережжі р. Бодрак (детальний опис наведено нижче). Однак Первомайський риф, за даними того ж автора [1], розташований на зовнішньому шельфі, тобто порівняно з іншими спорудами даної території віддалений від суходолу. Отже, опріснення маловірогідне. Посилений теригенний знос добре узгоджується з літологією даного розрізу (і загалом з літологією готеривських рифогенних вапняків даної території, які досить піскуваті), однак не узгоджується зі складом біоти. У межах Первомайської споруди колоніальні корали заміщуються в часі кораловим полем з млинцеподібних *Cunulites*, які за своєю морфологією зовсім не пристосовані до значного надходження теригенного матеріалу. Детальний палеоекологічний аналіз угруповання Первомайської споруди [7] дозволяє запропонувати аноксичний сценарій.

**2. Аноксичний сценарій** [7]. Зміни популяційних кривих смертності й закономірностей алометричного росту у морських їжаків Первомайського угруповання, а

також спрощення трофічної структури ясно указують на дефіцит кисню в середовищі. Оскільки відомо, що коралові угруповання в даному палеобасейні продовжували існувати і після загибелі Первомайської споруди [1], цей дефіцит кисню слід пояснити не руйнуванням автотрофної (коралової) підсистеми рифу, а підвищенням температури, що призводило до зменшення розчинності кисню у воді. Посилення теригенного зносу не відіграло вирішальної ролі в загибелі рифу (можливо, частка теригенного матеріалу у відкладах зросла просто внаслідок падіння інтенсивності біогенного карбонатонакопичення без жодного збільшення теригенного зносу). При цьому видимі ознаки порушення структури угруповання в першу чергу фіксуються на матеріалі гетеротрофної складової рифової екосистеми, а автотрофна (склерактинієво-зооксантелова) складова, як більш незалежна, певний час не виявляє зовнішніх ознак руйнування. Подібна ситуація дуже сприятлива для захоронення неокисненої органіки, тобто могла б бути передумовою формування відкладів з істотним нафтоматеринським потенціалом. Рифові екосистеми не тільки найбільш високопродуктивні на Землі, вони й найбільш збалансовані. Тому, щоб неокиснена органіка, сформована такою екосистемою, опинилася в захороненні, саме і потрібен дисбаланс на зразок описаного (порушена гетеротрофна складова угруповання при непорушеній автотрофній) [7].

Роль анокисних подій в деградації коралових рифів нижньої крейди (а також і у формуванні вуглеводневих покладів) добре обґрунтована [9, 10]. Однак для конкретного випадку нижньокрейдових органогенних споруд Західного Криму можна запропонувати і комбінацію чисто геологічних факторів, що призвели б до схожих результатів у плані розвитку органогенних споруд.

**3. Теригенний знос як похідна нерівномірної тектоніки і перепадів рельєфу** (сценарій "впливу клавішної тектоніки"). Для більшої частини Західного Криму, зокрема для готериву басейну Бодрака, для беріасу Бельбек-Качинського межиріччя як фактор, що обмежував розвиток склерактинієвих споруд, розглядається теригенний знос, не пов'язаний з великими річками [2, 8]. Крім нерівномірності темпів трансгресії, що пропонує І. Ю. Бугрова [2], до цього могла би призвести блокова тектоніка різного знаку, значні перепади рельєфу морського дна і прилеглої суходолу [8]. Такий сценарій відповідає всім наявним спостереженням.

Два останні сценарії до певної міри альтернативні, оскільки коралово-водоростева складова рифу набага-

то чутливіша до фактора теригенного матеріалу в басейні, отже, "клавішна тектоніка" спричинила б перш за все деградацію власне коралової, автотрофної складової споруди (а фактично, у першу чергу, виявляла негативну реакцію гетеротрофної складової [7]). Відрізнитися мають і результати реалізації цих сценаріїв, якщо розглянути їх у масштабі палеобасейну. Якщо згідно з анокисним сценарієм уже в ранньому готериві рифові екосистеми даного палеобасейну починали відчувати наслідки характерного для крейдового періоду [10] глобального потепління, то існування склерактинієвих органогенних споруд у пізньому готериві-баремі буде все менш вірогідним. У другому випадку ("клавішна тектоніка") наявність пізньоготеривських або баремських органогенних утворень на північ від дослідженої нами смуги споруд не виключена.

Критерієм вибору між цими двома сценаріями, крім палеоекології угруповання, можуть служити певні особливості просторового (3D) розташування споруд. А саме, у випадку "клавішної тектоніки" як основного фактора деградації коралової споруди мають спостерігатися відхилення від теоретично очікуваного розміщення споруд у 3D, не пов'язані з пізнішою за віком розломною тектонікою. Їм мають відповідати достатньо виразні етапи трансгресивно-регресивного циклу.

**Геологічна будова, стратиграфія і попередня вивченість досліджених об'єктів.** Виходи готеривських органогенних вапняків на правобережжі р. Бодрак являють собою смугу природних і штучних відслонень, витягнуту приблизно по падінню порід (рис. 1, 2). Відслонення підніж Білої-Кизил-Чигір (**профіль І**) місцями зникають під осипом чи закриті рослинністю. Готеривські рифогенні вапняки підстилаються тут туфопісковиками карадазької світи або сильно зруйнованими вивітрюванням діабазами бодрацького інтрузивного комплексу. Вапняки переважно рудувато-жовті, іноді сильно піскуваті, масивно-шаруваті.

Смуга відслонень підніж г. Зміїна (**профіль ІІ**) майже неперервна і нижній контакт з карадазькою світою переважно добре простежується. Причина цього – відносно більша частка біогенного карбонату і особливо за рахунок колоніальних склерактиній. Однак і тут у вапняках скрізь простежується шаруватість і наростання споруди відбувається не вгору, а по латералі (у напрямку на захід). Східна частина цього відслонення детально описана І. Ю. Бугровою [2]. Вік визначається за присутністю амонітів *Leopoldia leopoldina* як ранньоготеривський.

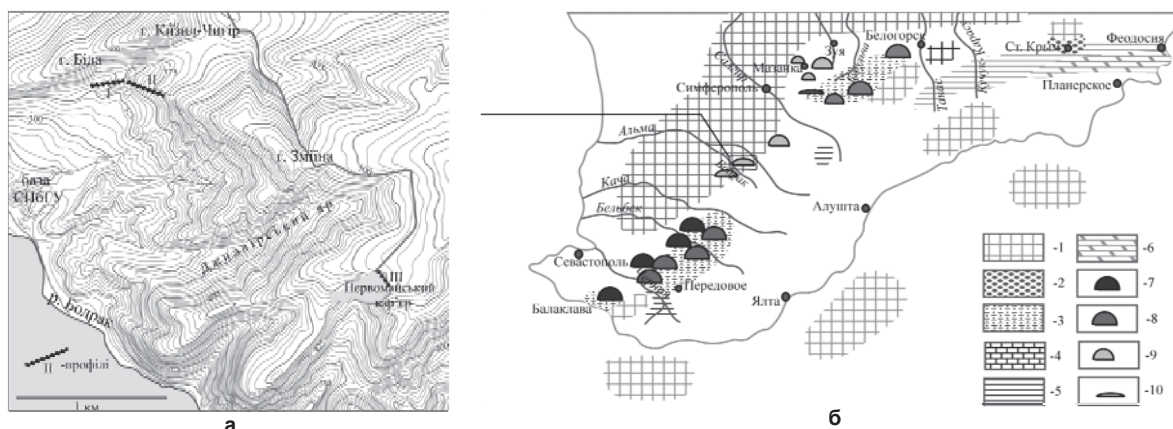


Рис. 1. Розташування досліджених об'єктів на місцевості (а) і на фоні розвитку палеогеографічної ситуації в нижній крейді (беріас-готерив) (на палеогеографічну карту беріаського палеобасейну [4] нанесено розташування біогермів згідно з роботами [2, 6, 8] (б):

1 – суходіл; 2 – літораль (галечники); 3 – піски й алеврити; 4 – вапнякові мули; 5 – глини; 6 – мергелисті осадки; 7–10 – органогенні споруди: 7 – беріаські; 8 – валанжинські; 9 – готеривські біогерми; 10 – біостроми

На південний схід від профілю II виходи органогенних вапняків тягнуться до самої вершини гори Зміїна (рис. 2, б), але ця ділянка не вивчалася через гіршу відслоненість.

Опис Первомайської споруди (**профіль III**) наведено в роботі Є. Ю. Барабошкина [1]: рифова споруда розвивалася на виступі діоритів Первомайського інтрузиву, а її шлейфи, складені грубоуламковою кораловою брекчією, тягнуться на південь і на захід. Потужність шлейфів (до 12 м на г. Малий Кермен) перевищує максимальну потужність вапняків ядра споруди (до 3 м), що пов'язано з розташуванням споруди на

підвищенні рельєфу, сформованому інтрузією. Споруда належить до зон *Leopoldia leopoldina* – *Crioceratites loryi* і перекривається породами т. з. другого циклолітесового рівня щільних карбонатних пісковиків, сформованих за переважної участі одиночних склерактиній *Cunpolites intumescens*, що перешаровуються з пухкими пісковиками (зона *Lytoceras nodosoplicatum*). Органогенних споруд, що належали б до зони *nodosoplicatum*, не виявлено, але в цитованій роботі Є. Ю. Барабошкина вказуються обкатані уламки коралових колоній у відкладах цієї зони.

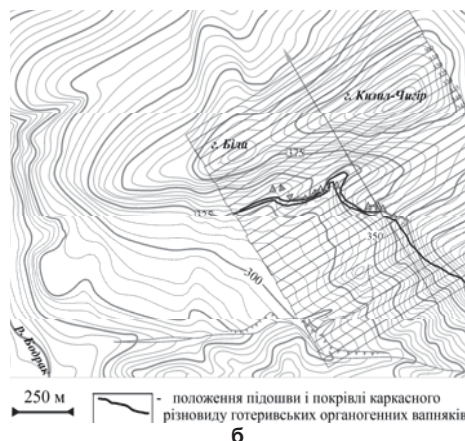
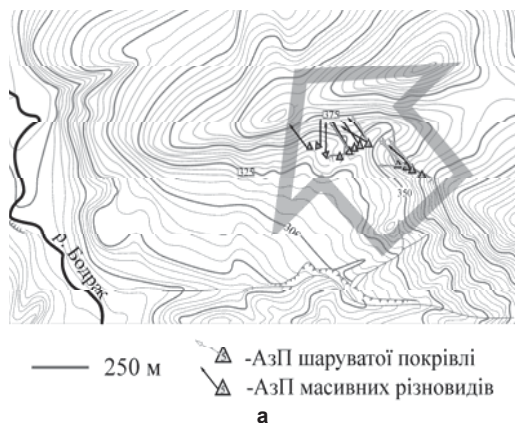


Рис. 2. Досліджені розрізи (профілі I і II) на фоні вірогідного напрямку трансгресії за [4, 6] (показаний прозорою стрілкою) – а. Положення підшови і покрівлі масивного різновиду готеривських вапняків, відбудоване за допомогою методу висотної арфи – б

**Методи.** Для органогенних споруд істотну фациальну інформативність має первинне залягання відкладів (реконструюється за елементами залягання). Шаруваті відклади рифового шлейфу первинно значно нахилени в бік відкритого моря, лагунні відклади залягали більш-менш горизонтально, а у відкладах ядра споруди вимірювання елементів залягання звичайними методами практично неможливе через масивність відкладів і розвиток біоморфної шаруватості [3]. За такого підходу до поставленого завдання доцільно розділити досліджені готеривські утворення на відклади **шаруватої покрівлі споруди** (це можуть бути як відклади периферії зовнішнього схилу пізнішої в часі споруди, так і "зарифові" відклади) і **масивний різновид** (органогенні каркасні вапняки споруди й органогенно-уламкові вапняки, які фациального заміщують каркасні).

Характерною особливістю споруд нижнього готериву басейну р. Бодрак є те, що тут навіть каркасні різновиди вапняків унаслідок вже неодноразово згадуваної пригніченості утворюють окремих елементів споруд (зовнішній схил, ядро, "зарифові" відклади). Елементи залягання масивних різновидів, осереднені по всіх точках спостереження, стали основою для реконструкції просторових (латеральних і вертикальних) співвідношень між окремими спорудами або частинами споруди, тобто для перевірки гіпотези про їхню трансг्रेसивне взаєморозташування і про пригнічення коралової споруди в результаті такої трансгресії. Зокрема, з метою перевірки цієї гіпотези можна порівняти розрахункові й фактично спостережені положення виходу підшови і покрівлі готериву на карті (**метод висотної арфи**) і на **літолого-фациальних профілях**. Для побудови профілю

обиралася площа, максимально наближена до всіх точок спостереження, зі збереженням вертикального і горизонтального масштабів, гіпсометричних деталей, потужностей. На цій площині профілю відображається проекція лінії падіння масивного різновиду рифогенних вапняків, яка являє собою проекцію готеривської горизонталі на дану площину. Якщо споруда розвивалася в умовах постійного стояння рівня моря, то положення підшови і покрівлі споруди на всьому профілі буде паралельне до цієї лінії. Відхилення реального положення підшови споруди вгору від теоретичної "готеривської горизонталі" свідчатиме про підйом рівня моря порівняно з тією частиною профілю, де підшова готеривських відкладів збігається з "готеривською горизонталлю".

**Результати. Метод висотної арфи.** Положення виходу підшови і покрівлі готеривських відкладів, розраховані для профілів I, II за елементами залягання, задовільно збігаються з фактично спостереженими, за винятком західної периферії споруди півніжжя г. Біла (див. нижче рис. 2, б).

**Споруда південно-західних схилів г. Зміїна.** Тут спостерігається найбільш проста ситуація повної відповідності підшови споруди "готеривській горизонталі" (рис. 3, профіль II). Ріст споруди почався на виступі інтрузивів (східний край профілю) і відбувався переважно по латералі, а не у висоту. Колонії коралів масивні, каравасподібні, до 70 см у діаметрі. На західній периферії споруди фіксується вимоїна, заповнена майже виключно губками-пероніделами (пероніделовий вапняк). Ще далі на захід від цієї точки колонії наростали на зовнішньорифову грубоуламкову брекчію. Усе це відбувається за сталого рівня моря: підшова і покрівля рифогенних вапняків відповідають "готеривській горизонталі". Ще далі на захід колонії коралів зустрічаються тільки в перекинутому положенні, переважають контакти "у клин" і "у лінзу", а різнобій азимутів падіння ритмічної товщі (рис. 3) показує, що пізніші відклади ховали під собою горбисту поверхню периферії споруди.

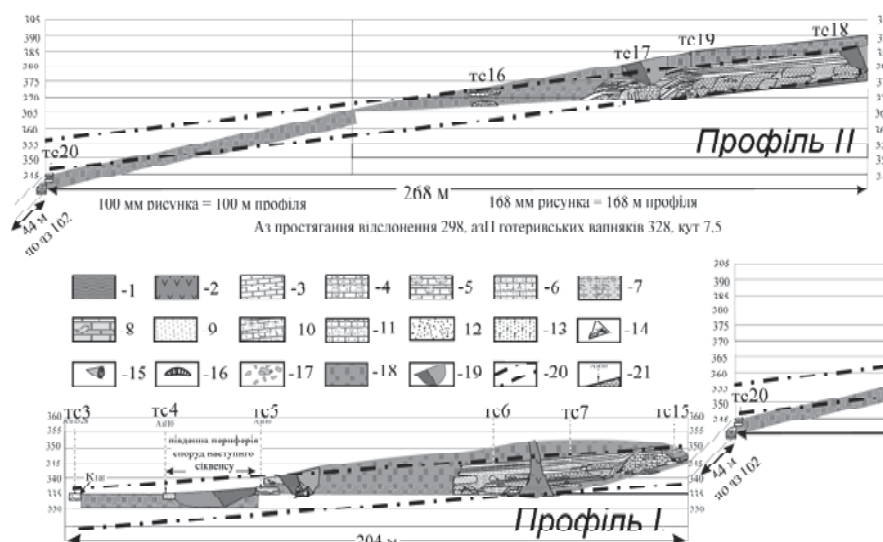


Рис. 3. Проекція "готеривської горизонталі" на площину відслонень південних схилів г. Біла і Кизил-Чигір (профіль I) і південно-західних схилів г. Зміїна (профіль II):

- 1 – розмиті й перевідкладені туфопісковики і туфоалевроліти карадазької світи (J2); 2 – інтрузії діабазів; 3 – вапняки;
- 4 – вапняки органогенно-детритові; 5 – вапняки органогенні, органогенно-детритові кавернозні; 6 – вапняки піскуваті;
- 7 – вапняки сильно піскуваті з детритом, переходять у пісковики; 8 – вапняки з крупним детритом; 9 – піски;
- 10 – вапняки детритові, з одиничними склерактиніями, піскуваті; 11 – вапняки детритові піскуваті; 12 – гравеліти;
- 13 – кварц-глауконітові пісковики, нижній альб; 14 – висипки органогенних вапняків з фауною; 15 – склерактинії одиничні;
- 16 – склерактинії колоніальні; 17 – губки-перонідеї; 18 – задерновані схили; 19 – проміїни, схили яких закриті осипом;
- 20 – "готеривська горизонталь"; 21 – азимуті падіння шарів

І тільки в тальвезі яру (тс. 20), де знову спостерігається підшва рифогенних вапняків (сильно вивірені діабаз), з'являються колонії коралів у прижиттєвому положенні. Тут положення підшви готериву на п'ять метрів нижче від "готеривської горизонталі". Але зміна фації (від ядра до периферії біогерму), що простежується зі сходу на захід, і склад фауни свідчать про те, що це просто більш глибоководна частина тієї самої споруди, а не рання стадія існування споруди за низького стояння рівня моря. Тут, крім колоніальних форм коралів, присутні також одиничні, більше ніде на ділянці профілю II не виявлені. Також зустрічаються двостулки роду *Pinna*, схожі на наконечники списів молюски з тонкою черепашкою, що встромлялися гострою маківкою в піщаний або мулистий ґрунт і додатково закріплювалися бісусом. Такий спосіб існування був непридатний для умов органогенної споруди, де навіть склерактинії формували виключно масивні колонії з широкою основою, щоб опиратися дії хвиль, і де проміжки між колоніями заповнювалися грубим детритом і уламками діоритів. Пінні, очевидно, заселяли відносно глибоководні зовнішні схили споруди або захищену від дії хвиль і виповнену кораловим піском міжбіогермну депресію.

**Споруди підніж г. Біла – Кизил-Чигір.** Рифогенні вапняки підніж г. Біла – Кизил-Чигір (профіль I) відрізняються краще вираженою шаруватістю і збільшенням частки піщаного матеріалу. Колонії склерактинії також масивні, караваєподібні, але їхні розміри менші (від 0,5 м у діаметрі в нижніх верствах до 5 см – у верхніх). Основна частина відслонень на профілі також розташована відповідно до "готеривської горизонталі". Але у східній частині профілю підшва споруди виразно підіймається – приблизно на 7–10 м. Тут вапняки відрізняються масивною текстурою, розміри колоній переважно великі, піщаного матеріалу мінімальна кількість. Це невеликий одновершинний біогерм у його класичному вигляді (рис. 3, профіль I).

Співвідношення даних споруд з відкладами, молодшими за віком, ілюструє **західна периферія профілю I** (рис. 3, тс. 4, тс. 5). Це ті самі точки, фактичне розташу-

вання яких відрізняється від теоретично розрахованого за допомогою висотної арфи (рис. 2). Тут в обох бортах яру, що продовжує перевал Білої – Кизил-Чигір, спостерігаються різко відмінні елементи залягання масивного різновиду (падіння на північ під кутом 2–3°, при тому що в інших вивчених розрізах АзП 328 кут 7,5°). Оскільки розріз правого і лівого борту даного яру добре корелюється за наявністю характерного прошарку вапняку з крупним детритом і ознак розломних порушень тут не вбачається, слід припустити, що падіння цих верств на південь є наслідком їхнього первинно-похилого залягання. Якщо привести залягання готериву в цих точках до "готеривської горизонталі", то первинне падіння цих порід буде становити перші градуси на південний схід. Це відповідає ситуації на віддаленій периферії зовнішніх, звернутих у бік відкритого моря, схилів, звідки надходив матеріал, що заповнював міжбіогермні западини. Ще пізніше споруди повністю були перекриті пісками і пісковиками "шаруватої покрівлі".

**Первомайський риф.** Серед органогенних споруд дослідженої території тільки Первомайська являє собою риф [1]. Пов'язано це зі значними розмірами Первомайської інтрузії, яка створила оптимальні глибини для існування колоніальних коралів далеко у відкритому морі. Ядро споруди місцями представлено суцільним кораловим вапняком із масивних колоній, що неперервно наростали, і потужність таких утворень становить 2 м, а можливо, і більше – на жаль, вони зруйновані кар'єром. Крім масивних колоній, тут зустрічаються і гіллясті форми, на р. Білій – Кизил-Чигір – Зміїній відсутні.

Будова розрізу (рис. 4) повністю відповідає ситуації виповнення осадком зарифової западини в палеореаль'єфі морського дна. Западина була розташована з протилежного боку від зовнішньорифових грубоуламкових шлейфів і логічно було б проінтерпретувати її як лагуну, на користь чого свідчить і багата фауна інфаунного і епіфаунного бентосу. Бентосна фауна представлена величезною кількістю екземплярів; для підтримання цієї значної біомаси угруповання "циклолітесово-

го рівня" потребувало і відповідної автотрофної складової з високою продуктивністю – тобто рифового склерактинієво-зооксантелового угруповання [6]. Однак

осадконакопичення в умовах закритої лагуни в тропічному кліматі мало б супроводжуватись накопиченням евапоритів, чого не спостерігається.

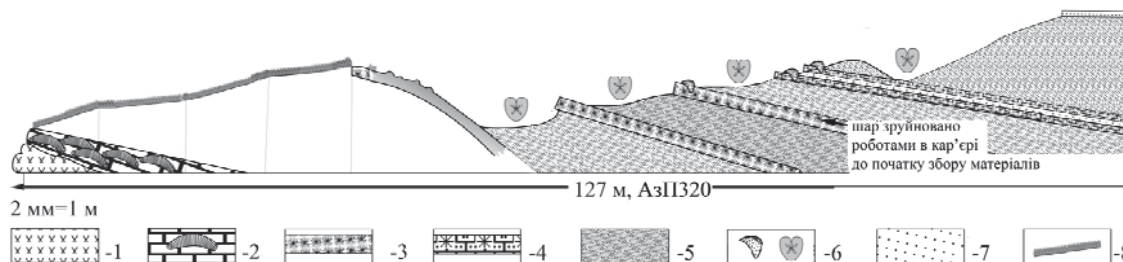


Рис. 4. Профіль Первомайської споруди:

1 – діорити; 2 – вапняки з колоніальними склерактиніями; 3–5 – "циклолітесові" верстви: 3 – вапняки, 4 – вапняки піскуваті, 5 – пісковики слабозцементовані, 6 – фауна; 7 – пісковики зовнішньошельфові, 8 – задерновані поверхні

**Висновки.** Отримані спостереження найкраще можна пояснити належністю досліджених рифогенних утворень до споруд відмілиного седиментаційного бар'єру [3]. Таке припущення відповідає більшості спостережених фактів: невеликі глибини і віддалений суходіл, відсутність добре виражених грубоуламкових шлейфів споруд (унаслідок незначних нахилів морського дна), швидка міграція споруд по латералі, наявність достатньо екранованих від хвиль ділянок. Усе це – характерні риси для споруд такого типу [3]. Єдине, що не зовсім відповідає ситуації відмілиного седиментаційного бар'єру, це велика кількість теригенного матеріалу, тоді як відклади таких споруд, як правило, не піскуваті [3]. Також додатково ускладнювало палеогеографічну ситуацію в даному палеобасейні те, що розташування споруд контролювалося не обрисами берегової лінії, а розміщенням виходів інтрузій. Відпрепаровані інтрузії підіймалися над поверхнею пухких відкладів дна басейну і створювали ділянки, оптимальні для розселення склерактиній, а також екрановані від дії хвиль ділянки (на зразок ритмічної "циклолітесової" товщі, що прилягає до Первомайської споруди), в яких бентосні угруповання в першу чергу могли відчувати нестачу кисню.

Побудовані фаціальні розрізи-профілі підтверджують, що трансгресія в ранньому готериві під час формування досліджених споруд дійсно відбувалася, але темпи її цілком помірні (5–7 м упродовж часу однієї, а може, і двох амонітових зон), причому ті частини споруд, що відповідають підйому рівня моря (напр., біогерм східної периферії підніж г. Кизил-Чигір), мають найбільш повний розвиток, тобто всупереч раніше зробленим висновкам [1, 2] пригнічення росту коралів при цьому не відбувається, навпаки, спостерігається класичний варіант позитивної залежності між ростом коралів і зануренням території.

Таким чином, для пояснення деградації коралових угруповань у готериві Південно-Західного Криму залишається тільки аноксичний сценарій, який був доведений раніше для Первомайської споруди. Проявлена протягом усієї крейди тенденція витіснення коралів з адаптивної зони біогермоутворювачів, спричинена (аналогічно ситуації сучасних рифів) глобальним потеплінням, призводила до руйнування структури коралових угруповань у першу чергу за рахунок пригнічення гетеротрофної складової [7]. Наслідком комплексу цих факторів (підвищення температури, пригнічення евкаріотичних споживачів органіки і підвищення ролі прокариот у цьому процесі) були аноксичні події (у даному ви-

падку локальні, пов'язані з міжбіогермними западинами, а пізніше й глобальні [9, 10]).

**Подяки.** Автор вдячний О. С. Огієнку, а також студентам А. Чабанюк, А. Салмінін, А. Новиковій, М. Кулінічу, за допомогу у збиранні й обробці матеріалу, корисні поради та плідне обговорення теми.

#### Список використаних джерел

1. Барабошкин Е. Ю. Новые данные по стратиграфии готеривских отложений в междуречье Кача-Бодрак / Е. Ю. Барабошкин // Очерки геологии Крыма. – М. : Изд-во Моск ун-та, 1997. – С. 27–53.
2. Baraboshkin E. J., (1997). Novye dannye po stratigrafii goterivskikh otlozheniy v mezhdurechye Kacha-Bodrak : Ocherki geologii Kryma, Moscow : Izd. Geol. F-ta MGU. 27–53. (In Russian)
3. Бугрова И. Ю. Морские организмы как индикаторы условий осадконакопления в древних бассейнах / И. Ю. Бугрова. – СПб. : Изд-во СПбГУ, 2006.
4. Bugrova I. Yu., (2006). Morskie organizmy kak indikatory usloviy osadkonakopleniya v drevnikh basseynakh. – SPb : Izd-vo SPbTU. (In Russian)
5. Геологическая съемка в районах развития отложений с органогенными постройками / Н. М. Задорожная, Д. В. Осадчая, Л. Н. Новоселова и др. ; под ред. А. С. Кумпан. – Л. : Недра, 1982.
6. Geologicheskaya syemka v rayonakh razvitiya otlozheniy s organogennymi postroykami / N. M. Zadorozhnaya, D. V. Osadchiaya, L. N. Novosiolova et al.; ed. A. S. Kumpun. – L. : Nedra, 1982. (In Russian)
7. Горбачик Т. Н. Особенности берриасского и валанжинского бассейнов Крыма и их населения / Т. Н. Горбачик, В. В. Друщич, Б. Т. Янин // Вестн. Моск. ун-та. Сер. Геология. – 1970. – № 3. – С. 16–25.
8. Gorbachik T. N., Druschits V. V., Yanin B. V. Osobennosti berriasskogo i valanzhinskogo bassieynov Kryma i ikh naselenie. Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta (MGU). Seriya Geologiya. 1970. – № 3. – 16–25. (In Russian)
9. Державна геологічна карта України масштабу 1:200 000. Аркуші L-36-XXIX (Сімферополь), L-36XXXV (Ялта): пояснювальна записка / відп. ред. Л. А. Фіколіна, О. О. Білокрис, Н. О. Обшарська та ін. – К. : Держ. геол. служба, Казенне підприємство "Південнегеоцентр", 2008.
10. Derzhavna geologichna karta Ukrainy masshtabu 1:200 000. L-36-XXIX (Simferopol'), L-36XXXV (Jalta): pojasnyuvalna zapyska / Ed. L. A. Fikolina, O. O. Bilokrys, N. O. Obsharska et al. – Kyiv : Derzhavna geologichna sluzhba, Kazenne pidpriemstvo "Pivdennegeotsentr". 2008. (In Ukrainian)
11. Кузьмичова Е. И. О фациях коралловых построек в нижнемеловых отложениях горного Крыма / Е. И. Кузьмичова // Палеонтол. сб. – 1966. – № 1, 3. – С. 111–113.
12. Kuzmitchova E. I. O fatsiyakh koralovykh postroek v nizhnemelovykh otlozheniyakh gornogo Kryma. Paleontologicheskiy sbornik. – 1966. – № 1, 3. – 111–113. (In Russian)
13. Попова Л. В. Палеогеографічні умови існування ранньоготеривської Первомайської рифової споруди / Л. В. Попова // Вісн. Київ. нац. ун-ту ім. Т. Г. Шевченка. Сер. Геологія. – 2013. – № 61. – С. 14–19.
14. Popova L. V. Paleogeografichni umovy isnuvannia rannigoterivskoi Pervomajskoi ryfovoyi sporudy // Visn. Kyiv. un-tu. Geol. – № 61. – 2013. – 14–19. (In Ukrainian)
15. Arkadiev V. V. Facies of the Cretaceous (Berriasian) Deposits from the River Belbek Area (Southwestern Crimea) / V. V. Arkadiev, I. Y. Bugrova // Facies. – 1999. – № 40. – P. 71–80.
16. Arthur M. A. Cretaceous "Oceanic Anoxic Events" as Causal Factors in Development of Reef-Reservoired Giant Oil Fields' / M. A. Arthur, S. O. Schallander // The American Association of Petroleum Geologists Bulletin. – 1979. – № 63. – № 6. – P. 870–885.
17. Johnson C. The rise and fall of Rudist reefs / C. Johnson // American Scientist. – 2002. – № 90. – P. 148–153.

Надійшла до редколегії 03.12.14

L. Popova, Cand. Sci. (Geol.), Senior Researcher  
Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv  
90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022 Ukraine  
E-mail: popovalv@mail.ru

#### HAUTERIVIAN BIOGENIC BUILDUPS OF THE BODRAK RIVER RIGHT BANK AREA, CRIMEAN MOUNTAINS

*The paper analyzes the factors affecting spatial distribution of the Low Cretaceous biogenic buildups in the Crimean Mountains. For the case of the Hauterivian paleobasin buildups, two most plausible hypotheses have been chosen out of the explanations, published earlier by different authors. These are an anoxic hypothesis of buildups control and a hypothesis of an increasing terrigenous export resulting from transgression, active block tectonics and differences of the surface relief. The hypothesis of the terrigenous export caused by active tectonics can be tested by applying methods of geological survey of biogenic buildups. In such a way, if in transgressive overlapping of certain biogenic buildups there is revealed an increase in an amount of terrigenous material in the reef limestone or inhibition of coral growth, the hypothesis of terrigenous export will be proved.*

*In the present paper the altitude harp method and the facial profiles analysis have been applied to buildups of the Bodrak River right bank area. The study reaffirms the Early Hauterivian transgression for this area; however, its rates are quite moderate (of about 5–10 m during the time span corresponding to two ammonite zones). The parts of buildups which correspond to the sea level rising show no signs of degradation, quite the reverse, they have the most complete development. These results argue against the hypothesis of buildups control by a terrigenous export and are the evidence of classical positive dependence between the area downwarping and reef growth. Thus, only the anoxic scenario remains most credible explanation for buildups distribution in the Hauterivian of the South-Western Crimeans. A trend to an exclusion of corals from the adaptive zone of reef-builders, which existed during all the Lower Cretaceous, was caused by global warming (similarly to modern situation). This trend resulted in destroying coral communities, in the first place at the expense of their heterotrophic component. As a consequence, there occurred anoxic events. In the case of the Early Hauterivian of the Bodrak river right bank area those used to be local, merely confined to inter-buildup depressions, hence later overgrowing into the global ones.*

*It has been shown that biogenic buildups of the Hauterivian Bodrak-Alma interfluvium can be classified as buildups of sandbank barrier zone. Low depths and off-shore location, the absence of foreslope bioclastic aprons, rapid lateral migration of buildup facies, and the presence of wave-protected areas are characteristic of these buildups. Besides, the paleogeographic situation was additionally complicated by the presence of many intrusions building positive topographic forms, all providing favourable environment for scleractinian communities.*

**Keywords:** Hauterivian, biogenic buildups, South-Western Crimea.

Л. Попова, канд. геол. наук, ст. науч. сотр.  
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, УНИ "Институт геологии"  
ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина  
E-mail: popovalv@mail.ru

#### ГОТЕРИВСКИЕ ОРГАНОГЕННЫЕ ПОСТРОЙКИ ПРАВОБЕРЕЖЬЯ Р. БОДРАК, ГОРНЫЙ КРЫМ

*Проанализированы факторы влияния на размещение органогенных построек в нижнем мелу Горного Крыма. Для случая построек готеривского палеобассейна на основе ранее опубликованных выводов разных авторов выбраны две альтернативные гипотезы, в наибольшей мере соответствующие наблюдаемой ситуации: аноксическая гипотеза и гипотеза усиления терригенного сноса в результате неравномерного опускания территории и перепадов рельефа. Гипотеза терригенного сноса, связанного с активной тектоникой, может быть протестирована с помощью комплекса методов, применяемых при геологической съемке органогенных построек. А именно, если при трансгрессивном взаиморасположении отдельных построек или частей одной постройки будет проявляться тенденция к замедлению или прекращению роста построек, или возрастание доли терригенного материала в составе кораллового известняка, гипотеза терригенного сноса может считаться доказанной. В данной работе для такого тестирования были использованы метод высотной арфы и построение фациальных профилей. Таким образом, на материале раннеготеривских построек правобережья р. Бодрак было показано, что трансгрессия во время формирования данных построек действительно имела место, однако темпы ее были вполне умеренными. Подъем уровня моря составлял 5–10 м на протяжении промежутка времени, соответствовавшего двум аммонитовым зонам. При этом части построек, соответствовавшие высокому стоянию уровня моря, не имеют никаких признаков деградации, напротив, соответствуют классической положительной зависимости между ростом кораллов и погружением территории.*

*Таким образом, в качестве объяснения деградации коралловых сообществ в готериве Юго-Западного Крыма остается только аноксический сценарий. Существующая на протяжении всего раннего мела тенденция вытеснения кораллов из адаптивной зоны биогермообразователей, обусловленная глобальным потеплением (аналогично ситуации современных рифов) приводила к разрушению структуры коралловых сообществ, в первую очередь за счет угнетения эукариотической гетеротрофной составляющей. Это приводило к всплескам размножения прокариот, и в результате к аноксическим событиям (на данном этапе – локальным, связанным с межбиогермными впадинами, а позднее и глобальным).*

*Показано, что готеривские органогенные постройки междуречья Бодрака и Альмы относятся к постройкам отмельных седиментационных барьеров. Для таких построек характерно размещение на небольших глубинах, но сравнительно далеко от берега, отсутствие хорошо развитых грубообломочных шлейфов, особенно быстрая миграция фаций постройки по латерали, наличие хорошо экранированных от действия волн участков. Дополнительно усложняло ситуацию в палеобассейне то, что размещение построек контролировалось, помимо прочего, и выходами интрузий, которые создавали благоприятный субстрат для поселения склерактиний.*

**Ключевые слова:** готериве, органогенные постройки, Юго-Западный Крым.

УДК 561.261:551.35+551.89(292.33)

О. Огієнко, асист.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка  
ІНІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна  
E-mail: ogienko@univ.kiev.ua

## ВИДОВЕ РІЗНОМАНІТТЯ ТА ЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ДІАТОМОВИХ КОМПЛЕКСІВ З ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ДОННИХ ВІДКЛАДІВ ЗАХІДНОЇ АНТАРКТИКИ (РАЙОН АРГЕНТИНСЬКИХ ОСТРОВІВ)

*(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, доц. В. В. Огарем)*

Стаття присвячена вивченню видового різноманіття діатомових водоростей з поверхневих морських відкладів акваторії Аргентинських островів у районі Української Антарктичної станції "Академік Вернадський". Мета дослідження – аналіз палеофаціальних умов формування діатомових комплексів і впливу різних чинників на їхній таксономічний склад і екологічну структуру. Лабораторна обробка для вилучення панцирів діатомових водоростей проводилася за стандартною методикою. Вивчення діатомей здійснювалося в постійних препаратах за допомогою світлового та сканувального електронного мікроскопів; підрахунок кількості стулок – до 600–800 екземплярів на препарат з подальшим визначенням відсоткового співвідношення кожного виду у складі комплексу.

У результаті дослідження було визначено таксономічний склад та екологічні особливості діатомових, проаналізовано фактори, що впливали на формування комплексів. Видовий склад комплексів показав, що під час формування поверхневого шару (0–3 см) морських відкладів району гідрологічні умови акваторії були близькими до сучасних. Майже повна відсутність бентосу свідчить про глибини моря, більші за фотичну зону (понад 150 м). Домінування планктонних прибережноморських холодноводних і криофільних видів і незначна кількість відкритоокеанічних теплолюбних указує на невелику відстань від берега та суворі зими із щільним крижаним покривом 7–8 місяців на рік. Температура поверхневого шару морської води в сезон вегетації діатомових становила від  $-1,5^{\circ}\text{C}$  до  $+3^{\circ}\text{C}$  із середньолітніми значеннями  $+0,5 \dots +1,5^{\circ}\text{C}$ , дрейфуюча крига існувала протягом усього літа.

Аналіз свідчить, що розподіл планктонних видів діатомових у поверхневих донних комплексах збігається з ареалами їхнього сучасного поширення. Це вказує на слабкі поверхневі течії й відсутність значної турбулентності моря. Можна припустити дію припливно-відпливних течій, що привносили відкритоокеанічні субантарктичні види в прибережноморську антарктичну зону.

Діатомові водорості як індикатори використовуються для реконструкцій коливань палеоклімату, для дослідження кліматичних флуктуацій, пов'язаних з процесами глобального потепління, при геологічних і палеогеографічних дослідженнях Південного океану. Певна фрагментарність вивченості розповсюдження решток кременистих мікрофітофосилій в донних відкладах північно-західної частини Антарктичного півострова робить актуальним детальний аналіз діатомових водоростей з осадових акваторій Аргентинських островів. Проведені нами дослідження розвитку діатомової флори є новим внеском у вивчення палеоклімату Антарктики протягом четвертинного часу, а також хорошим підґрунтям для подальших палеогеографічних і седиментологічних робіт.

**Ключові слова:** діатомові водорості, морські донні відклади, Аргентинські острови, Південний океан.

### Вступ, актуальність і постановка завдання.

Діатомові водорості є унікальними палеоіндикаторами і широко використовуються для реконструкцій коливань клімату протягом геологічного часу. Процеси сучасного глобального потепління спонукають шукати для дослідження кліматичних флуктуацій найбільш чутливі до зміни температури вод групи організмів; в Антарктичних водах увагу зосереджують на вивченні змін видового складу діатомових водоростей. Детальні геологічні та палеогеографічні дослідження Південного океану обов'язково залучають дані діатомового аналізу, як, наприклад, під час виконання міжнародних програм глибоководного морського буріння протягом 40 років (із 1968 р). Однак вивченість розповсюдження решток діатомових у товщі донних відкладів північно-західної частини Антарктичного півострова все ще залишається фрагментарною [4]. У районі архіпелагу Аргентинські острови, де на острові Галіндез (Galindez) розташована Українська Антарктична станція "Академік Вернадський", вивчення цієї групи із товщі донних відкладів до останнього часу не проводилось. Тому для геологічних, седиментологічних і палеогеографічних реконструкцій актуальним є детальний аналіз кременистих мікрофітофосилій, у тому числі діатомових водоростей, з осадових відкладів глибоководної западини Палмера (Palmer Deep), розташованої південніше однойменного острова.

Діатомові водорості є однією зі складових мікрофітопланктону Південного океану. Їхні кременеві скелети в значній кількості накопичуються і зберігаються в донних відкладах, утворюючи потужний пояс кремненачипчення навколо Антарктиди. Видовий склад діатомових комплексів з донних відкладів суттєво відрізняється від асоціацій сучасних діатомей. Осадження панцирів сучасних діатомових масово відбувається під час активної вегетації, тобто у весняно-літньо-осінній сезон,

переважно під час трьох піків "цвітіння". Домінуючі види кожної із сукцесій відмінні. Так, серед планктонних діатомових першого весняного піку вегетації домінують види з дрібними клітинами, яким малий розмір дає змогу швидше розмножуватись і збільшувати кількість у планктоні. Це, перш за все, *Fragillariopsis curta* (Van Heurck) Hust., *F. cylindrus* (Grun.) Krieger, представники роду *Chaetoceros*. У другому (літньому) піку домінують діатомові із середнім розміром клітин (*Thalassiosira antarctica* Comber), а восени – крупні діатомові (*Coscinodiscus*). Видовий склад асоціацій діатомових може бути відмінним у різні роки. Тому, вивчаючи викопні діатомові комплекси, ми отримуємо усереднену інформацію про екологічні умови сезонної вегетації за певний проміжок геологічного часу.

З огляду на сказане, проведені нами дослідження розвитку діатомової флори можуть стати певним внеском у вивчення палеоклімату Антарктики протягом четвертинного часу.

**Мета робіт.** Вивчення видового різноманіття діатомових комплексів із товщі морських поверхневих відкладів району Аргентинських островів, аналіз палеофаціальних умов їхнього формування та впливу різних чинників на таксономічний склад і екологічну структуру.

**Матеріали і методи дослідження.** Нами вивчено колонки донних осадових дев'яти станцій, отримані під час робіт Української Антарктичної експедиції в районі Аргентинських островів, на захід від узбережжя Антарктичного півострова, Земля Грехам, у березні 2004 р; координати розташування станцій наведено в табл. 1. Досліджено зразки поверхневого шару донних відкладів (інтервал 0–3 см). Станції № 04-60, 04-63, 04-65, 04-67 розташовані в протоці Пенола (Penola), що розділяє Аргентинські острови та Антарктичний півострів; станція № 04-59 – у затоці Уїгінс (Wiggins); станція № 04-57

– у затоці Жирард (Girard); станція № 04-51 – у протоці Ламієр (Lamaiere); станція № 04-64 – у протоці Грандідьєр (Grandidier); станція № 04-53 – у Французькому каналі (рис. 1). Глибини моря в районі розташування станцій в середньому варіюють від 225 до 380 м, найменша глибина в затоці Жирард – 190 м, найбільші –

450–490 м у протоці Ламієр і Французькому каналі. Осадки представлені однорідними зеленими та зеленувато-сірими алевритистими глинами та глинистими алевритами, карбонатними, з домішками піщано-жорсткано-гравійного матеріалу льодовикового походження та черепашок двостулкових молюсків.

Таблиця 1

Координати розташування станцій в районі Аргентинських островів

| № станції | Розташування станції | Широта (S) | Довгота (W) | Глибина моря (м) |
|-----------|----------------------|------------|-------------|------------------|
| 04-51     | Протока Ламієр       | 65,12°     | 64,03°      | 490              |
| 04-53     | Французький канал    | 65,16°     | 64,39°      | 450              |
| 04-57     | Затока Жирард        | 65,13°     | 63,96°      | 190              |
| 04-59     | Затока Уїгінс        | 65,22°     | 64,10°      | 350              |
| 04-60     | Протока Пенола       | 65,27°     | 64,26°      | 225              |
| 04-63     | Протока Пенола       | 65,34°     | 64,21°      | 300              |
| 04-64     | Протока Грандідьєр   | 65,44°     | 64,54°      | 380              |
| 04-65     | Протока Пенола       | 65,25°     | 64,19°      | 340              |
| 04-67     | Протока Пенола       | 65,20°     | 64,13°      | 320              |

Для вилучення панцирів діатомових водоростей зразки оброблялися за стандартною методикою В. П. Гричука і А. П. Жузе з використанням важкої рідини [1; 2]. Постійні препарати виготовлено на смолі типу NAPHRAX. Вивчення діатомей проводилося за допомогою світлового мікроскопа Olimpus CX4 при збільшеннях 600–1200х. Підрахунок кількості стулок проводився до 600–800 екземплярів на препарат з подальшим визначенням відсоткової частки кожного виду у складі комплексу. Фотографії діатомових було зроблено за допомогою сканувального електронного мікроскопа JEOL NeoScan JSM-5000 за сприяння офіційного представника фірми TOKYO BOEKI в Україні.

Збереженість стулок хороша та задовільна, часто зустрічаються цілі панцири, тонкостінні діатомові бувають пошкоджені, крупні представлені фрагментарно.

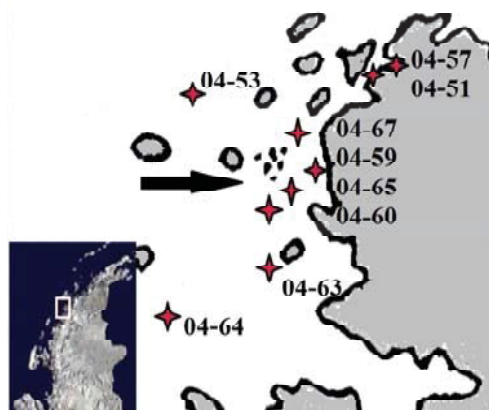


Рис. 1. Схема розташування станцій  
Стрілкою вказано Аргентинські острови

#### Виклад основного матеріалу та обговорення.

Поверхневі морські відклади акваторії Аргентинських островів містять значну кількість решток панцирів діатомових водоростей. Усього нами визначено 98 видів і різновидів діатомових, що належать до 41 роду. Видовий склад комплексів у більшості досліджених станцій дуже схожий. Основу комплексів становлять представники морського планктону – до 80–85 % стулок. Серед екологічних груп різко домінують криофільні неритичні види діатомових, відносна кількість стулок яких сягає 65–75 %. Відкритоокеанічних планктонних форм – 7–16 %, тихопелагічних діатомових та епіфітів, які можуть зустрічатися і в планктоні, – 5–10 %, бентосних представників діатомової флори до 3–5 %.

Термін "криофільні" був запропонований П. І. Усачовим (1949) для крижаних асоціацій та планктонних ді-

атомових, пов'язаних у своєму розвитку з морською кригою [3]. Тобто під "криофілами" (англ. sea ice algae) розуміють як перифітон, що існує на поверхні й усередині морської криги, так і холодноводний планктон в морських водах, що оточують кригу. Криофільні види діатомових водоростей з комплексів поверхневого шару донних відкладів району Аргентинських островів наведено на рис. 2. Найбільш типові діатомові з досліджуваних комплексів зображено на рис. 3.

У вивчених діатомових комплексах переважає рід *Thalassiosira*, який становить частку від 50 до 60 % стулок, що майже повністю представлена стулками *T. antarctica*. Другим за кількістю із представників цього роду є *T. lentiginosa* (Jan.) Fryx., близько 1–4 % у комплексах. Вид *T. gracilis* (Karsten) Hustedt становить частку 1–2 % стулок і представлений двома варіаціями: *T. gracilis* var. *expecta* (VanLand.) Fryxell & Hasle та *T. gracilis* var. *gracilis* (Karsten) Hustedt. Інші види роду *Thalassiosira* представлені незначною кількістю або одиночними стулками. Це: *T. eccentrica* (Ehr.) Cleve, *T. oliveriana* (O'Meara) Makarova & Nikolajev, *T. perpusilla* Kozlova, *T. ritscheri* (Hustedt) Hasle, *T. tumida* (Janisch) Hasle тощо. Серед інших центричних діатомей в комплексах у значній кількості присутні спори *Chaetoceros* spp. – 5–8 %, *Actinocyclus actinochilus* (Ehr.) Sim. – 4 %, *Porosira glacialis* (Grun.) Jorg. – 4–7 %, *Stellarima microtrias* (Ehr.) Hasle & Sims – 2–3 %. Кількість стулок виду *Eucampia antarctica* var. *recta* (Mang.) Fryx. & Pras. становить від 0,5 до 4 %, *Porosira pseudodenticulata* (Hust.) Jouse – 0–3 % та роду *Rhizosolenia*, представленого видами *Rh. antennata* Sundstrom і *Rh. styliformis* Bright., – 0–2 %. Також у кількості до 1–2 % присутні види: *Paralia sol* (Ehr.) Cawf., *Odontella aurita* (Lyngbye) Agardh. Часткою близько 1 % або одиночними стулками представлені види: *Actinocyclus octonarius* Ehr., *Coscinodiscus oculus-iridis* (Ehr.) Ehr., *Odontella weissflogii* (Janisch) Grunow, *Podosira stelligera* (Bailey) Mann, *Triceratium arcticum* Bright. та під *Asteromphalus*.

Пенатні діатомові становлять меншу частину комплексів, приблизно 10–20 %, але також мають строкатий таксономічний склад. Рід *Cocconeis* становить 3–7,5 % у діатомових комплексах з переважанням *C. fasciolata* (Ehr.) Brown – 2,5–6 % та *C. costata* Greg. – 0,5–2%. Також зустрічаються види: *C. antiqua* Tempere & Brun, *C. californica* var. *keruelensis* Heiden & Kolbe, *C. distans* Greg., *C. scutellum* Ehr. Широким видовим спектром представлений рід *Fragilariopsis*. Це: *F. curta*, *F. cylindrus*, *F. kerguelensis* (O'Meara) Hust., *F. linearis* (Castr.) Freng., *F. obliquecostata* (Van Heurck) Heid., *F. ritscheri* Hust., *F. rhombica* (O'Meara) Hust. Загальна кількість стулок представників цього роду в діатомових

комплексах коливається від 2 до 5 %. У кількості 0,5–2 % присутні лише *Achnanthes brevipes* var. *intermedia* (Kutz.) Cl. та *Thalassiothrix antarctica* Schimper ex Karsten. Усі інші представники пенатних діатомей зустрічаються в кількості менше 1 % або поодинокими стулками: *Amphora ovalis* (Kutz.) Kutz., *A. proteus* Greg., *A. veneta* Kutz., *Diploneis latefurcata* (Font.) Cleve-Euler, *D. stigmata* Heiden & Kolbe *D. subovalis* Cl., *Grammatophora arcuata* Ehr., *G. marina* (Lyngbye) Kutzing, *Licmophora antarctica* Carlson, *Navicula directa* (Smith) Ralfs, *N. glaciei* Van Heurck, *Thalassionema nitzschioides* (Grun.) Meres., *Trachyneis aspera* (Ehr.) Cl., *Trichotoxon reinboldii* (Van Heurck) Reid & Round.

У зразку зі станції № 04-63 присутні окремі стулки міоценового виду *Denticulopsis dimorpha* (Schrader) Simonsen.

Як уже було зазначено вище, у вивчених діатомових комплексах домінують **холодноводні планктонні діатомові**. Зазвичай представники роду *Thalassiosira* існують у віддалених від континенту водах і не асоціюють з крижаними обстановками. Лише вид *T. antarctica* пристосувався до існування в прибережно-морській зоні. Кількість стулок *T. antarctica* в досліджених комплексах усіх станцій різко домінує і сягає 40–50 %. Цей вид представлений холодноводним морфотипом, вегетація якого починається при температурі води  $-1,5^{\circ}\text{C}$  з оптимальними значеннями від  $-0,5$  до  $+0,5^{\circ}\text{C}$  [5]. Теплолюбна форма *T. antarctica*, вегетація якої відбувається при температурі води від  $+1,5$  до  $+4^{\circ}\text{C}$  [5], представлена незначною кількістю стулок. Маючи сильно окремлені стулки, *T. antarctica* витримує значну турбулентність, але дуже чутлива до зниження інтенсивності світла і не розвивається в підкритому просторі [8].

Види *Porosira glacialis* та *P. pseudodenticulata* існують у схожих екологічних умовах і класифікуються як неритові діатомові, що розвиваються в прибережних морських водах. Вони тяжіють до зон розповсюдження пакової криги. Існування цих видів обмежено температурою поверхневої морської води від  $-1,3$  до  $+2^{\circ}\text{C}$  з піком цвітіння від 0 до  $+0,5^{\circ}\text{C}$ . Знаходження цих діатомових у морських донних комплексах указує на щільний крижаний покрив взимку та високу концентрацію плаваючої криги влітку [4]. Кількість стулок цих видів у комплексах у сумі становить 5–10 %, домінує *P. glacialis*.

*Actinocyclus actinochilus* – ще один неритичний вид Південного океану. У досліджених комплексах кількість його стулок становить близько 4 %, що корелюється із середньо-літніми температурами моря  $-1,5...0^{\circ}\text{C}$ . Найбільші концентрації його спостерігаються біля краю крижаної кромки та пакової криги.

Вид *Stellarima microtrias* становить частку до 2–3 % стулок у комплексах. У сучасних умовах Південного океану цей вид розповсюджений на південь від літньої межі плаваючої криги. Така кількість стулок у комплексах свідчить про тривалу крижану обстановку (7,5 місяців на рік) і температуру морської води від  $-1,3$  до  $+3,5^{\circ}\text{C}$  [4].

Представники роду *Chaetoceros* – численні серед планктонних діатомових водоростей сучасних океанів. Незважаючи на те, що вони існують у доволі широкому діапазоні температур, найбільший їхній розвиток у Південному океані відбувається при температурі води між  $-1$  та  $+1^{\circ}\text{C}$  і приурочений до прибережних холодних вод, що перебувають під впливом криги [4]. У комплексах рід *Chaetoceros* представлений гіпноспорами в кількості 5–8 %.

Види *Fragilariopsis curta* та *F. cylindrus* є невід'ємною частиною діатомових асоціацій кріоперифітону та крижаного фітопланктону, де вони існують у талій воді між кристалами льоду [5, 9]. Пік їхнього розмноження відбу-

вається в діапазоні температур морської води від  $-0,5$  до  $+1^{\circ}\text{C}$ . Разом з *A. actinochilus* ці види є індикаторами положення морської крижаної кромки влітку [9]. Їхні стулки зустрічаються в незначній кількості й становлять частку 0,5–1,5 % (максимум – 2,5 % у зразку станції № 04-65) від загальної чисельності комплексу.

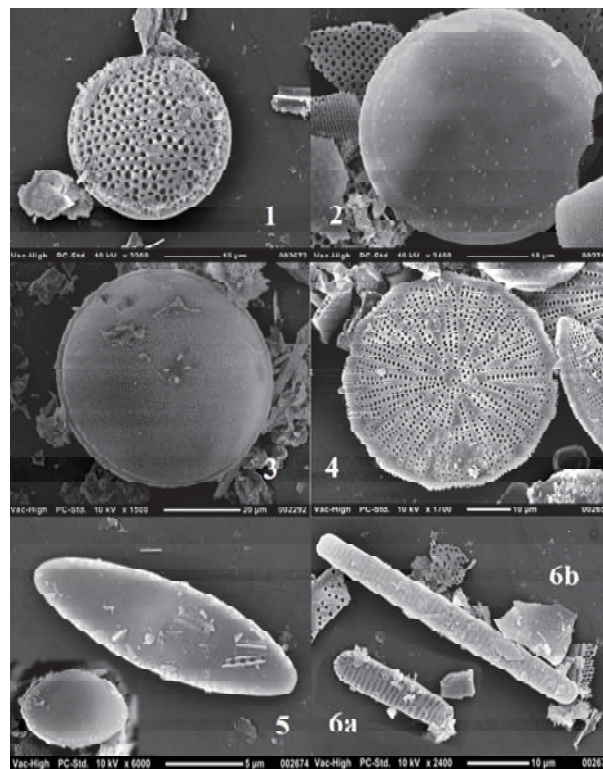


Рис. 2. Кріофільні діатомові із комплексів поверхневого шару донних відкладів району Аргентинських островів:

- 1 – *Thalassiosira antarctica*, 2 – *Porosira glacialis*,  
3 – *Stellarima microtrias*, 4 – *Actinocyclus actinochilus*,  
5 – гіпноспори *Chaetoceros*, 6, а – *Fragilariopsis curta*,  
6, б – *F. cylindrus*

У кількості від 7 до 16 % зустрічаються представники планктонних видів, що тяжіють до відкритоморських та океанічних умов.

*Thalassiosira lentiginosa* – субантарктичний вид, який найбільших концентрацій набуває в планктоні Антарктичного Полярного Фронту, тоді як у прибережних районах, зокрема навколо Антарктичного півострова і в морі Уедделла, він майже не спостерігається. Його вегетація відбувається протягом усього літа при температурі від  $+1$  до  $+8^{\circ}\text{C}$  [6], кількість клітин в планктоні прямо пропорційна температурі води. У комплексах кількість стулок виду становить частку 1–4 %.

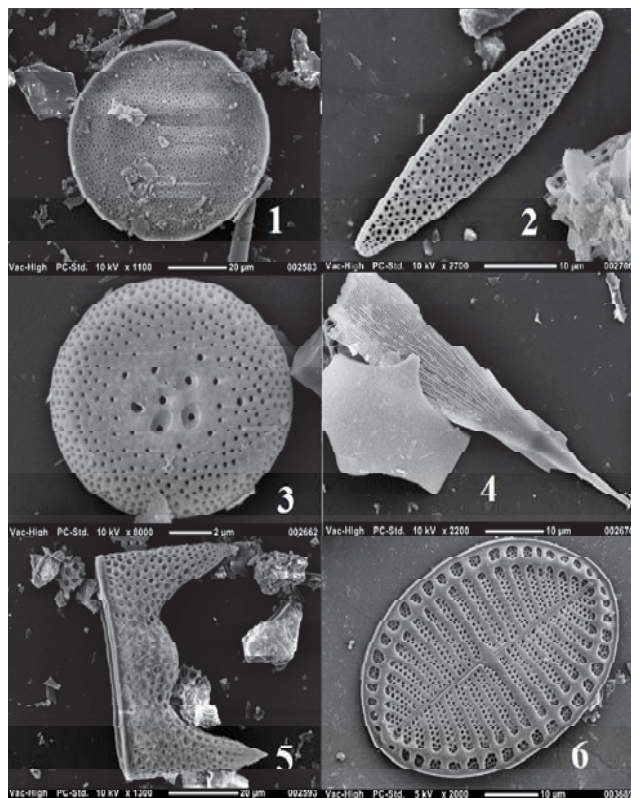
*Fragilariopsis kerguelensis* – притаманний субантарктичним водам вид, який домінує у складі фітопланктону південніше Полярного Фронту. У прибережних водах зустрічається рідко, а віддає перевагу відкритоокеанічним умовам [9]. Цей вид існує у вузькому температурному діапазоні з оптимальною температурою  $+5^{\circ}\text{C}$  і не живе у водах з від'ємними температурами [6, 7]. З огляду на такі екологічні особливості *F. kerguelensis* активно використовується як цінний палеоіндикатор. Кількість стулок цього виду в досліджених діатомових комплексах не більше 2,5 %.

Види роду *Rhizosolenia*, що вказують на відкритоокеанічні умови, зустрінуто лише на станції № 04-57, яка розташована в затоці Жирард, їхня кількість сягає 2 %. Їхню присутність можна пояснити привнесенням планктону морськими течіями з району глибоководної запа-

дини Палмера, що розташована неподалік. У цьому комплексі присутній відкритоокеанічний холодноводний вид *Thalassiosira gracilis* в кількості 1–2 % стулок.

**Епіфіти**, що можуть траплятися і в планктоні на плаваючих макроводоростях, представлені родом *Cocconeis*. Домінують *Cocconeis fasciolata* та *C. costata* і в сумі становлять від 3 до 7,5 % стулок у комплексах. **Тихопелагічний вид** *Paralia sol* зустрічається в кількості 0,5–2,3 %.

Для досліджених нами комплексів цього району бентосні діатомові не характерні через глибини моря близько 200 м, але зустрічаються поодинокі представники родів *Diploneis*, *Grammatophora*, *Licmophora*, *Navicula*, *Pinnularia*.



**Рис. 3. Типові діатомові водорості з комплексів поверхневого шару донних відкладів району Аргентинських островів:**

- 1 – *Thalassiosira lentiginosa*, 2 – *Fragilariopsis kerguelensis*,  
3 – *Thalassiosira gracilis*, 4 – *Rhizosolenia styliformis*,  
5 – *Eucampia antarctica* var. *recta*, 6 – *Cocconeis fasciolata*

**Висновки.** Аналізуючи видовий склад діатомових комплексів з морських поверхневих відкладів району Аргентинських островів і прилеглих ділянок, можна зробити висновки, що під час формування поверхневого шару відкладів потужністю 0–3 см гідрологічні умови в межах цих ділянок були близькими до сучасних. Майже повна відсутність бентосних видів діатомових указує на доволі значні глибини моря, більші за фотичну зону (принаймні, понад 150 м).

Домінування прибережноморських планктонних холодноводних і кріофільних видів і незначна кількість відкритоокеанічних теплолюбних указує на невелику відстань від берега та суворі зими із щільним крижаним покривом протягом 7–8 місяців на рік. Температура поверхневого шару морської води під час сезону вегетації діатомових була від –1,5 до +3 °C із середньолітніми значеннями від +0,5 до +1,5 °C, дрейфуюча крига існувала протягом усього літа.

Зроблений нами аналіз діатомових комплексів свідчить, що розподіл планктонних видів діатомових у поверхневих донних комплексах збігається з ареалами їхнього сучасного поширення. Це вказує на слабкі морські поверхневі течії й відсутність значної турбулентності. Можна припустити вплив течій (напр., припливно-відпливних), які привносять у прибережноморську антарктичну зону відкритоокеанічні субантарктичні види діатомових.

Виконані нами дослідження розвитку діатомової флори з поверхневого шару відкладів є новим внеском у вивчення палеоклімату Антарктики протягом четвертинного часу, а також хорошим підґрунтям для подальших палеогеографічних і седиментологічних робіт.

Подяки. Автор висловлює подяку співробітнику Інституту геологічних наук НАН України Ю. В. Вернігоровій за наданий літологічний матеріал.

#### Список використаних джерел

1. Жузе А. П. Диатомовый анализ. Кн. 1. Общая и палеоботаническая характеристика диатомовых водорослей / А. П. Жузе, А. И. Прошкина-Лавренко, В. С. Шешукова; ред. А. И. Прошкина-Лавренко. – М.; Л.: Гос. изд-во геол. лит-ры, 1949. – 240 с.
2. Jouse A. P., Proshkina-Lavrenko A. I., Sheshukova V. S., (1949) Diatom analysis. Vol. 1. General and paleobotanic characteristic diatom algae / Ed. A. I. Proshkina-Lavrenko. – Moscow; Leningrad, The state publishing house of the geological literature, – 240 p. (In Russian)
3. Жузе А. П. К методике технической обработки горных пород в целях диатомового анализа // Диатомовый сборник / ред. А. И. Прошкина-Лавренко, В. С. Шешукова. – Л.: Изд-во Ленинград. ун-та, 1953. – С. 206–220.
4. Jouse A. P., (1953). To a method of technic processing of rocks for a diatom analysis. Diatom review. Ed. A. I. Proshkina-Lavrenko, V.S. Sheshukova. Leningrad, Publishing house of Leningrad university, 206–220. (In Russian)
5. Усачев П. И. Микрофлора полярных льдов / П. И. Усачев // Тр. Ин-та океанологии АН СССР. – 1949. – № 3. – С. 216–259.
6. Usachyov P. I., (1949). Microflora of polar ices. Works of institute oceanology of Academy sciences USSR, 3, 216–259. (In Russian)
7. Armand L. The biogeography of major diatom taxa in Southern Ocean sediments: 1. Sea ice related species / L. Armand, X. Crosta, O. Romero, J.-J. Pichon // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. – 2005. – № 223. – P. 93–126.
8. Buffen A. Diatom assemblages in surface sediments of the northwestern Weddell Sea, Antarctic Peninsula / A. Buffen, A. Leventer, A. Rubin, T. Hutchins // Marine Micropaleontology. – 2007. – № 62. P. 7–30.
9. Crosta X. The biogeography of major diatom taxa in Southern Ocean sediments: 2. Open ocean related species / X. Crosta, O. Romero, L. Armand, J.-J. Pichon // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. – 2005. – № 223. – P. 66–92.
10. Krebs W. Ice Diatom Floras, Arthur Harbor / W. Krebs, J. Lipps, L. Burckle // Antarctica. Polar Biol. – 1987. – № 7. – P. 163–171.
11. Pike J. et al. Observations on the relationship between the Antarctic coastal diatoms *Thalassiosira antarctica* Comber and *Porosira glacialis* (Grunow) Jorgensen and sea ice concentrations during the Late Quaternary / J. Pike et al. // Marine Micropaleontology. – 2009. – № 73. – P. 14–25.
12. Young-Suk Bak et al. Diatom evidence for Holocene paleoclimatic change in the South Scotia Sea, West Antarctica / Young-Suk Bak et al // Geosciences Journal. – 2007. – № 11. – P. 11–22.

Надійшла до редколегії 10.10.14

O. Ogienko, Assistant  
Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv  
90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022 Ukraine  
E-mail: ogienko@univ.kiev.ua

## SPECIES DIVERSITY AND ECOLOGICAL FEATURES OF DIATOM ASSEMBLAGES FROM THE SURFACE LAYER OF THE WESTERN ANTARCTIC BOTTOM DEPOSITS (THE ARGENTINEAN ISLANDS)

*This paper is devoted to diatom taxonomic diversity in marine surface deposits of the Argentinean Islands water area near the "Academician Vernadsky" Ukrainian Antarctic Station. The research is aimed at analyzing the palaeofacial conditions of diatom assemblage formation and various agents which affected their taxonomic composition and ecological structure. To study the fossil diatom assemblages, the material was treated in accordance with standard techniques. Diatom frustules were examined by light and scanning electron microscopy. Quantitative estimation showed up to 600–800 diatom frustules in each slide. The share has been identified for each species in the assemblage.*

*The research yielded data on the taxonomy and ecological features of the diatom assemblages. There have been analyzed the major factors in the assemblage formation. The species composition of the assemblage suggests that the surface layer (0–3 cm) of the Argentinean Islands deposits was being formed in a hydrological environment similar to the present one. Lack of benthos can be accounted for by a sea depth of over 150 m below the photic zone.*

*The predominant planktonic littoral cold-water species, cryophile diatom species and scarce oceanic warm-water ones must have occurred in the near shore waters with ice cover, which, due to cold winters, remained thick for 7–8 months per year. The results suggest that the temperature of the marine surface waters ranged from  $-1,5^{\circ}\text{C}$  to  $+3^{\circ}\text{C}$  during the vegetation season. With average summer temperatures of  $+0,5 \dots +1,5^{\circ}\text{C}$ , ice remained drifting in the waters throughout the summer.*

*The distribution of planktonic diatom species in the surface bottom assemblages coincides with their modern areas, which is accounted for by weak sea surface currents and low hydrologic dynamics. It can be assumed that the oceanic subantarctic diatoms were brought into shallow Antarctic coastal waters by tides.*

*Due to their sensitivity to changes in environmental variables, diatoms are widely used as an indicator in reconstructions of palaeoclimatic variations and fluctuations resulting from global warming, as well as in the geological and paleoceanological investigations of the South Ocean. However, fossil siliceous microalgae in the North-Western Antarctic bottom deposits had not been given a detailed description, which necessitated a thorough analysis of diatoms from the sediments in the Argentinean Islands water area.*

*Our scientific research into the diatom flora development has enhanced the understanding of the Quaternary Antarctic palaeoclimate variables. The new diatom data may be of use to those undertaking paleoceanological and sedimentological inquiry.*

**Keywords:** diatoms, marine bottom deposits, Argentinean Islands, Southern ocean.

О. Огиенко, ассист.  
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, УНИ "Институт геологии"  
ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина  
E-mail: ogienko@univ.kiev.ua

## ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДИАТОМОВЫХ КОМПЛЕКСОВ ИЗ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЗАПАДНОЙ АНТАРКТИКИ (РАЙОН АРГЕНТИНСКИХ ОСТРОВОВ)

*Статья посвящена изучению видового разнообразия диатомовых водорослей из поверхностных морских отложений акватории Аргентинских островов в районе Украинской Антарктической станции "Академик Вернадский". Цель исследования – анализ палеофациальных условий формирования диатомовых комплексов и влияния различных факторов на их таксономический состав и экологическую структуру. Лабораторная обработка для извлечения панцирей диатомовых водорослей проведена по стандартной методике. Изучение диатомей осуществлялось в постоянных препаратах с помощью светового и сканирующего электронного микроскопов; подсчет количества створок – до 600–800 экземпляров на препарат с последующим определением процентного отношения каждого из видов в составе комплекса.*

*В результате исследования были определены таксономический состав и экологические особенности диатомовых, проанализированы факторы, влиявшие на формирование комплексов. Видовой состав комплексов показал, что при формировании поверхностного слоя (0–3 см) морских отложений района гидрологические условия акватории были близки к современным. Почти полное отсутствие бентоса свидетельствует о глубине моря, глубже фотической зоны (более 150 м). Доминирование планктонных прибрежно-морских холодноводных и криофильных видов и незначительное количество открытоокеанических теплолюбивых указывает на небольшое удаление от берега и суровые зимы с плотным ледяным покровом 7–8 месяцев в году. Температура поверхностного слоя морской воды в сезон вегетации диатомовых составляла от  $-1,5^{\circ}\text{C}$  до  $+3^{\circ}\text{C}$  со среднелетними значениями  $+0,5 \dots +1,5^{\circ}\text{C}$ , дрейфующий лед присутствовал все лето.*

*Анализ свидетельствует, что распределение планктонных видов диатомовых в поверхностных донных комплексах совпадает с ареалами их современного распространения. Это указывает на слабые поверхностные течения и отсутствие значительной турбулентности моря. Можно предположить влияние приливо-отливных течений, привносивших открытоокеанические субантарктические виды в прибрежно-морскую антарктическую зону.*

*Диатомовые водоросли как индикаторы используются для реконструкций колебаний палеоклимата, для исследования климатических флуктуаций, связанных с процессами глобального потепления, при геологических и палеогеографических исследованиях Южного океана. Определенная фрагментарность изученности распространения остатков кремнистых микрофитофоссилий в донных отложениях юго-западной части Антарктического полуострова актуализирует подробный анализ диатомовых водорослей из осадков акватории Аргентинских островов. Проведенные нами исследования развития диатомовой флоры являются новым вкладом в изучение палеоклимата Антарктики в течение четвертичного времени, а также хорошей основой для дальнейших палеогеографических и седиментологических работ.*

**Ключевые слова:** диатомовые водоросли, морские донные отложения, Аргентинские острова, Южный океан.

УДК 551.253+549.651

А. Мазко, асист.,  
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,  
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна,  
E-mail: aemazko@gmail.com

## РАННЬО- І ПІЗНЬОСИНГРАНІТИЗАЦІЙНІ БЛАСТОМІЛОНІТИ ПЕРВОМАЙСЬКОЇ ЗОНИ РОЗЛОМІВ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол.-мінерал. наук, проф. О. І. Лукієнком)

На прикладі епізоду перетину лейкократових бластомілонітів меланократовими тектонітами розглянуто стадійність процесу формування гранітизації. Об'єктом дослідження були строкати за структурно-текстурними особливостями та складом двопольовошпатові мігматити та гранітогнейси, тектоніти центральної частини Первомайської гранітогнейсової монокліналі. У місці досліджень переважають світло-сірі, світло-рожеві та рожеві, середньо-крупнозернисті та пегматоїдні, часто порфіробластичні, різко сланцюваті й смугасті бластомілоніти.

Ранні лейкократові пегматоїдні тектоніти залягають субвертикально. Вони перетинаються під кутом, близьким до 45°, просічкою меланократових тектонітів. Перетин без суттєвих підвертань і порушень директивних текстур свідчить про крихкопластичний характер деформування. Напрямок та амплітуда переміщень достеменно не встановлені, хоч за розташуванням напівзруйнованих фрагментів пегматоїдної жили (скупчень порфірокластів калієвого польового шпату (КПШ) та кварц-польовошпатових агрегатів) у пізніх тектонітах припускаються порівняно малоамплітудні зміщення, можливо, підкидовою характеру.

Досліджена просічка меланократових тектонітів має потужність 8–10 см і простежена впродовж трьох метрів. Азимут падіння ~240–260°, кут падіння 45–55°, тоді як елементи залягання лейкократових тектонітів: азимут падіння 80°, кут падіння 85°.

Меланократові тектоніти мають дрібнозернисту структуру і біотит-кварц-польовошпатовий склад і відрізняються бластомілонітовою дрібнозернистою гранобластовою структурою, на фоні якої спостерігаються реліктові порфірокласти КПШ і гранату, а також мономінеральні кварцові лінзи, подібні до утворень у фонових гранітогнейсах. Бластез доволі досконалий, хоч у шліфах добре простежується бластомілонітова природа сланцюватості. Повсюдно спостерігаються порфірокластичні мікрооб'єкти – свідчення неспіввісних деформацій – і перманентний характер деформаційних процесів і бластезу (крихко-в'язкого руйнування).

Факт пересічення лейкократових тектонітів меланократовими сумнівів не викликає. Залишається невирішеним питання про часові співвідношення цього деформаційного епізоду з процесами палеопротерозойського гранітоутворення. Проведені мікротектонічні дослідження засвідчують саме синхронність цих деформацій на пізніх і постгранітизаційних стадіях гранітоутворення та суттєву змінність напружено-деформаційних станів протягом гранітизації.

Ключові слова: лейкократові гранітогнейси (політектоніти), реліктовий порфірокласт, меланократові бластомілоніти.

**Постановка проблеми.** Тектоніти шовних зон Українського щита (УЩ), тобто крупних міжмегаблокових структур розривної природи, дуже різноманітні. Речовинне та структурно-текстурне різноманіття залежить передусім від особливостей різновікового субстрату, його речовинних перетворень, характеру деформаційних процесів, співвідношення швидкостей руйнування та бластезу. Не викликає сумніву значна тривалість розвитку шовних структур, хоч реконструкції послідовності деструктивних і кристалізаційних процесів, відтворення стадійності перетворень і тривалості стадій, зв'язку "шовних" процесів з регіональними внутрішньомегаблоковими доволі складні й досі актуальні. Разом із тим, практично загально визнаною вважається позиція, згідно з якою головні шовні зони, і перш за все Голованіська, з граничними Тальовською та Первомайською зонами розломів мають палеопротерозойське закладання, а палеопротерозойський етап їхнього функціонування є головним [1–5].

Первомайська зона розломів (ПЗР) у палеопротерозойському її виразі сприймається як гранітогнейсова вторинна монокліналь (ГГМ) із переважно субвертикальним заляганням площинних текстурно-структурних елементів (мілонітова та мігматитова смугастість, сланцюватість, кліваж), сформована внаслідок суміщення в часі та просторі багатостадійних деформаційних перетворень і автохтонного двопольовошпатового гранітоутворення. У Прибузькій частині ці процеси накладаються на палеоархейські гранулітові кристалосланцевогнейсові утворення.

Розглядаючи палеопротерозойські тектоніти, відзначимо доволі значне поширення двох видів тектонітів, близьких за складом, але контрастних за забарвленням, що, крім усього, має практичне значення при їхньому простежуванні й картуванні. Лейкократові, часто аляскітові бластомілоніти зазвичай мають світло-сірий, жовтувато-сірий, світло-рожевий, рожевий та червоний колір, а меланократові – сірий і темно-сірий,

до чорного. Зрештою, структурно-текстурні характеристики таких тектонітів також суттєво різні. Теоретичне значення такого поділу тектонітів полягає в тому, що вони, формуючись на різних стадіях гранітоутворення і представляючи різні деформаційні епізоди, дозволяють з'ясовувати співвідношення динамо-кінематичних умов на різних стадіях формування ПЗР.

**Об'єкт досліджень та основні результати.** Об'єктом дослідження були тектоніти центральної частини Первомайської ГГМ. У скельних виходах лівого берега р. Південний Буг поблизу греблі м. Первомайськ відслонюються строкати за структурно-текстурними особливостями та складом двопольовошпатові мігматити та гранітогнейси. Переважають світло-сірі, світло-рожеві та рожеві, середньо-крупнозернисті та пегматоїдні, часто порфіробластичні, різко сланцюваті й смугасті, з реліктами мінералізованого кліважу, аляскітові, біотитові й гранатові гранітогнейси, насичені субзгідними пегматоїдними лінзами та жилами.

Такі лейкократові гранітогнейси (політектоніти) характеризуються стійким субмеридіональним простяганням при субвертикальному падінні площинних структурно-текстурних елементів.

Структура порід ранніх, лейкократових, політектонітів укр. нерівномірнозерниста. На фоні видовжених субпаралельних дрібно-середньозернистих агрегатів кварц-польовошпатового складу за відсутності реліктів гранулітового субстрату, звичних у периферійних частинах ГГМ, у шліфах спостерігаються залишки ранніх стадій перетворень у вигляді видовжених уздовж сланцюватості нодулів плагіоклаз-кварцового складу з подіноними дрібними лусками біотиту. Плагіоклаз середньо-кислого складу зі слідами кородування і рекристалізації часто зберігається у вигляді окремих порфірокластів. Перекристалізований кислий олігоклаз двох-трьох генерацій входить до складу згаданих кварц-польовошпатових агрегатів. Виразна структурна особливість лейкократових тектонітів створюється розвит-

ком порфіробластів калієвого польового шпату (КПШ), розмір яких може сягати 5–6 см. Порфіробласти розповсюджені вкрай нерівномірно, часто концентруються в окремих смугах і лінзах, аж до пегматоїдних жильних утворень, що створює характерну смугастість мігматитового типу. Порфіробласти КПШ тією чи іншою мірою деформовані, часом перетворені на порфірокласти. Дроблений КПШ може перекристалізовуватись і фор-

мувати другу генерацію порівняно невеликих порфіробластів або входити до складу кварц-польовошпатових агрегатів. Утім, КПШ обох генерацій зазнає потужних деформаційних перетворень у зв'язку з кліважуванням, що передуює розвитку субпаралельних, практично номінеральних, кварцових лінз і смуг, які створюють характерну лінзоподібно-смугасту текстуру лейкократових тектонітів (рис. 1).



**Рис. 1. Співвідношення ранніх лейкократових і пізніх меланократових тектонітів:**

1 – пегматоїдна жила лейкократових тектонітів, 2 – меланократові тектоніти, 3 – "сходи" на сколі відслонення. Поверхні субгоризонтальних тріщин на відслоненні. Вісь об'єктива направлена на північ

Стадійність синдеформаційного петрогенезису добре простежується у ранніх тектонітах – гранатових, порфіробластичних, зрідка пегматоїдних гранітогнейсах з повсюдно добре вираженою комбінованою сланцюватістю і смугастістю (рис. 2, 3). Багатостадійне крихко-в'язке руйнування і бластез зі збагаченням вихідних порід КПШ і кварцом і послідовним їхнім перетворенням у полігенні мігматити (рис. 2) і гранітогнейси проявлені як строкатістю структурно-текстурних характеристик, так і чіткою спрямованістю речовинних перетворень.

Іншою їхньою особливістю є нерівномірний розвиток доволі крупних (до 2–3 см) зерен гранату, оточених ореолами освітлення (повна відсутність фемічних мінералів), що створює плямистий вигляд порід.

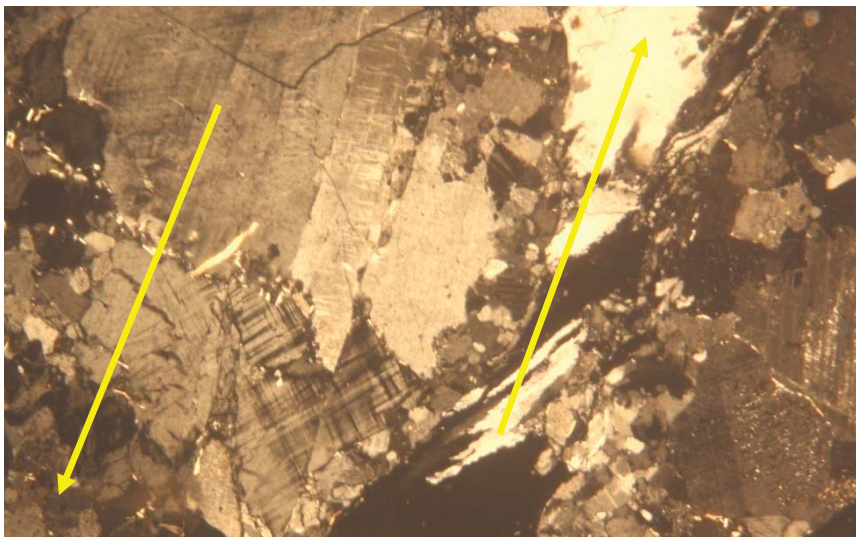
Лейкократові політектоніти часто зазнають локальних ускладнень. Зокрема, спостерігаються косі до директивних текстур лейкократових тектонітів малопотужні зонки мінералізованого кліважу по системах сколових тріщин. Подібну діагональну орієнтацію мають також поодинокі просічки меланократових бластомілонітів (рис. 1)

Ранні лейкократові пегматоїдні тектоніти мають субвертикальне залягання. На рис. 1 видно, як вони перетинаються під кутом, близьким до 45°, просічкою меланократових тектонітів. Перетин без суттєвих підвертань і порушень директивних текстур свідчить про крихкопластичний характер деформування. Напрямок та амплітуда

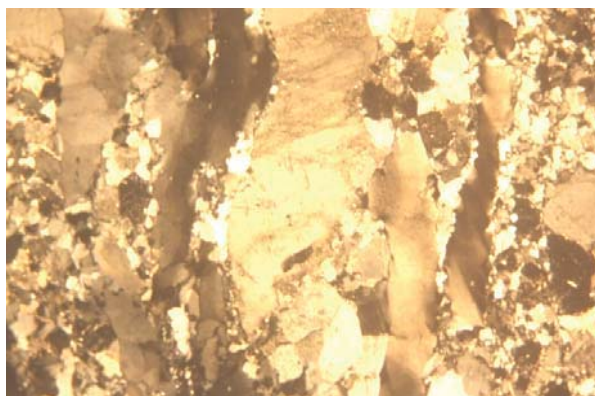
переміщень достеменно не встановлені, хоч за розташуванням напівзруйнованих фрагментів пегматоїдної жили (скупчень порфірокластів КПШ і кварц-польовошпатових агрегатів) у пізніх тектонітах припускаються порівняно малоамплітудні зміщення, можливо, підкидового характеру.

Показана на рис. 1 просічка складена темно-сірими бластомілонітами з поодинокими порфірокластами КПШ або їхнім скупченнями, має потужність 8–10 см і простежена впродовж 3 м. Азимут падіння ~240–260°, кут падіння 45–55°, тоді як елементи залягання ранніх, лейкократових, тектонітів: азимут падіння 80°, кут падіння 85°.

Меланократові тектоніти мають дрібнозернисту структуру та біотит-кварц-польовошпатовий склад із вмістом біотиту (місцями до 10 %) і відрізняються бластомілонітовою дрібнозернистою гранобластовою структурою, на фоні якої спостерігаються реліктові порфірокласти КПШ (рис. 4, 5) і гранату, а також номінеральні кварцові лінзи, подібні до утворень у фонових гранітогнейсах (рис. 2). Бластез доволі досконалий, хоч у шліфах добре простежується бластомілонітова природа сланцюватості. Повсюдно спостерігаються порфірокластичні мікрооб'єкти – свідчення неспіввісних деформацій – і перманентний характер деформаційних процесів і бластезу (крихко-в'язкого руйнування).

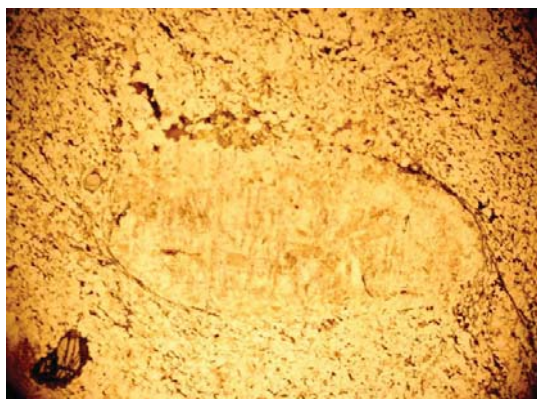


**Рис. 2. Руйнація кристалобластів КПШ зі зміщенням.**  
Синдеформаційна рекристалізація кварцу. Мікрофотографія шліфу; ніколи +

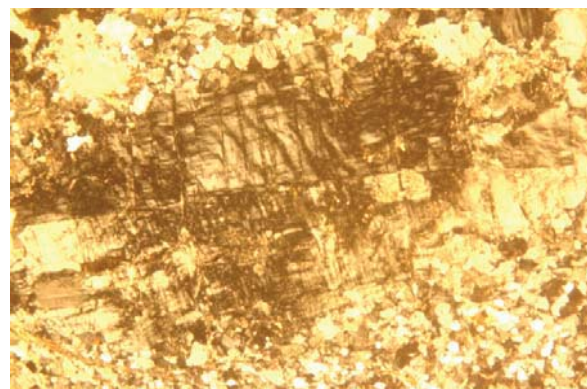


**Рис. 3. Смугастих тектоніт**  
Деформація і рекристалізація у смугах суттєво кварцового складу. Мікрофотографія шліфу; ніколи +

На неподрібнених порфірокластах помітні сліди периферійної руйнації (рис. 4) і внутрішні деструкції (рис. 5). Новоутворені порфіробласти КПШ відсутні, а реліктові порфіробласти інтенсивно дроблені. Практично повного руйнування зазнають також порфіробласти гранату, який зрідка зустрічається у вигляді дрібних реліктових зерен. Перекристалізація захоплює тонкоуламковий матеріал і формує тонкозернисту біотит-кварц-польовошпатову основну тканину меланократових тектонітів (рис. 6).

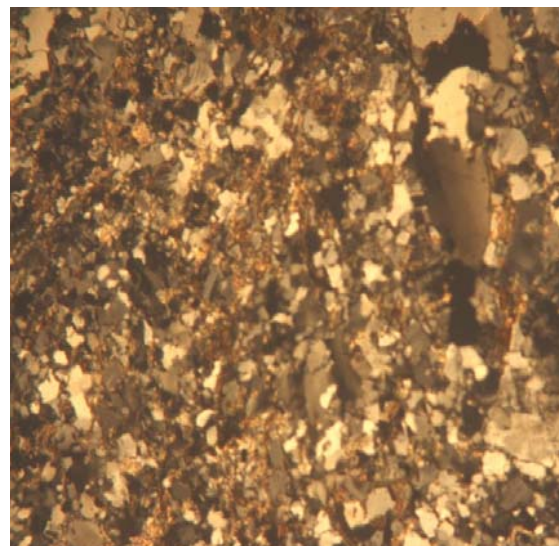


**Рис. 4. Неподрібнений реліктовий кристалобласт**  
(у минулому – кристалобласт ранніх лейкократових, пегматодних тектонітів), зруйнований по периферії в процесі транспортування серед дрібнозернистої маси тектонітів.  
Мікрофотографія шліфу; ніколи +



**Рис. 5. Подрібнений, реліктовий порфіробласт**  
Мікрофотографія шліфу; ніколи +

Січний характер меланократових бластомілонітів сумнівів не викликає, хоч питання про часові співвідношення цього деформаційного епізоду з процесами палеопротерозойського гранітоутворення залишаються. Проведені мікротектонічні дослідження свідчать саме про синхронність цих деформацій на пізніх стадіях гранітоутворення та суттєву змінність напружено-деформаційних станів протягом гранітизації.



**Рис. 6. Тонкозернисті меланократові тектоніти**  
Мікрофотографія шліфу, 3,7x; ніколи +

**Висновки.** Таким чином, достатньо очевидним стає факт формування пізніх тектонітів після головної стадії формування автохтонних гранітогнейсів, проявленої інтенсивною калішпатизацією (розвитком порфіробластів КПШ), імовірно, в умовах транстенсії, але до завершальної стадії збірної рекристалізації кварцу (можливо, з додатковим привнесенням), відокремленої виразним деформаційним епізодом. Остання, судячи з наведеного, була спільною для обох типів тектонітів.

Такі дані свідчать про тривалий, багатостадійний розвиток палеопротерозойського гранітоїдного петрогенезису у змінних полях напружень, що позначилось формуванням різнотипних тектонітів.

#### Список використаних джерел

1. Верем'єв П. С. Морфологія і внутрішня будова Ємільово-Первомайського глибинного розлому Українського щита / П. С. Верем'єв, В. А. Рябенко // Доп. АН УРСР. Сер. Б. – 1968. – № 10. – С. 867–871.  
Verem'ev P.S., Ryabenko V.A., (1968). Morphology of and internal structure Yemilovo-Pervomaiskoho deep fault Ukrainian Shield. Dop. AN URSR. Ser. B, 10, 867–871. (In Ukrainian)

2. Гинтов О. Б. Полевая тектонофизика и ее применение при изучении деформаций земной коры Украины / О. Б. Гинтов. – К.: "Фенікс", 2005. – 572 с.

Gintov O. B., (2005). Field tectonophysics and its application in the study of crustal deformation of Ukraine. Kyiv, "Feniks", 572 p. (In Russian)

3. Лукієнко О. І. Дислокаційна тектоніка та тектонофації докембрію Українського щита: монографія. / О. І. Лукієнко, Д. В. Кравченко, А. В. Сухорада. – К.: ВПЦ "Київський університет", 2008.

Lukienko O.I., Kravchenko D.V., Sukhorada A.V., (2008). Dyslokatsiyna tektonika ta tektonofatsiyni dokembriyu Ukrainського Schita: Monogr. Kyiv, VPTS "Kyivskiy universitet". (In Ukrainian)

4. Шевчук В. В. Некоторые проблемы методологии структурного анализа разломных зон Украинского щита / В. В. Шевчук; ред. Е. Ф. Шнюков // Тектонофаціальний аналіз і проблеми геодинаміки. – К.: ОМГОР, 2008. – С. 256–264.

Shevchuk V.V., (2008). Some problems of methodology of structural analysis of fault zones of the Ukrainian Shield. Proc.: "Tektonofatsialny analysis and problems of geodynamics" / Ed. Acad. E.F. Shnyukov. Kyiv, OMGOR, 256–264. (In Russian)

5. Шевчук В. В. Соотношение протерозойского автохтонного гранитообразования и деформационных процессов в пределах Тальновской зоны разломов (Украинский щит) // Вісн. Київ. нац. ун-ту ім. Т. Г. Шевченка. Сер. Геологія. – 2012. – № 56. – С. 5–7.

Shevchuk V.V., (2012). Ratio proterozoic granite autochthonous and deformation processes within Talnovskoy fault zone (Ukrainian shield). Visnyk Kyivsk. un-tu: Geologiya, 56, 5–7. (In Russian)

Надійшла до редколегії 13.11.14

A. Mazko, Assistant,  
Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv  
90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022 Ukraine  
E-mail: aemazko@gmail.com

### EARLY AND LATE SYNCHROGRANITIZATIONAL BLASTOMYLONITES IN PERVOMAISKA FAULT ZONE

*The paper explores stages in granitization of the leucocratic blastomylonites intersected by melanocratic tectonites. The study focuses on diagenetic migmatites and gneissoid granites, variegated in texture, structure and composition, which are the tectonites of the Pervomaiska gneissoid granite monocline. The prevalent blastomylonites in the study area are light gray, light pink and pink, average-to-coarse-grained, pegmatoid, porphyroclastic, heavily schistose and banded.*

*Early leucocratic pegmatoid tectonites occur subvertically and are intersected by melanocratic tectonites at 45°. Showing no major recumbency or discontinuity of the directive structures, the intersection provides evidence of a brittle-ductile deformation. Rotational amplitude and vector being vague to define, the juxtaposition of the deformed fragments of the pegmatite vein in the late tectonites is assumed to have been affected by low amplitude of shear or thrust deformational processes, though. The hypothesis made is further confirmed by the occurrence of Fsp porphyroclasts as well as Fsp quartz aggregates.*

*The thickness of the melanocratic layer observed within 3 m makes 8–10 cm, with an azimuth being 240–260°, and the gradient making 45–55°. This is contrasted to leucocratic tectonites with an 80° azimuth and an 85° gradient.*

*Melanocratic tectonites are of fine-grained texture and Fsp biotite-quartz chemistry. They are identified based on blastomylonite fine-grained granoblastic texture with traces of relict Fsp and garnet porphyroclasts, as well as low mineralized quartz lenses that are similar to those of the basic gneissoid granites. Blastomylonite is quite mature, while sections reveal distinct blastomylonite schistose features. Minor porphyroclasts can be seen throughout the study area, which suggests permanent hetero-axial brittle-ductile deformation.*

*The leucocratic tectonites being intersected by the melanocratic ones is obvious. What raises further consideration is the temporal correlation between the deformational processes in question and the Palaeo-Proterozoic granitization. Interestingly, microtectonic evidence suggests late and post granitization deformations having been in sync, with granitization strains showing considerable variability.*

**Keywords:** leucocratic gneissoid granites (polytectonites), relic porphyroclast, melanocratic blastomylonites.

A. Mazko, ассист.  
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, УНИ "Институт геологии"  
ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина  
E-mail: aemazko@gmail.com

### РАННИЕ И ПОЗДНИЕ СИНГРАНИТИЗАЦИОННЫЕ БЛАСТОМИЛОНИТЫ ПЕРВОМАЙСКОЙ ЗОНЫ РАЗЛОМОВ

*На примере эпизода пересечения лейкократовых бластомилонитов меланократовыми тектонитами рассматривается стадийность процесса формирования гранитизации.*

*Объектом исследования были пестроцветные по структурно-текстурным особенностям и составу дуополевошпатовые мигматиты и гранитогнейсы, тектониты центральной части Первомайской гранитогнейсовой моноклинали. Преобладают светло-серые, светло-розовые и розовые, средне-крупнозернистые и пегматоидные, часто порфирокластичные, резко сланцеватые и полосчатые бластомилониты.*

*Ранние лейкократовые пегматоидные тектониты залегают субвертикально. Они пересекаются под углом, близким к 45°, просечкой меланократовых тектонитов. Пересечение без существенных подворотов и нарушений директивных текстур свидетельствует о хрупкопластичном характере деформирования. Направление и амплитуда перемещений точно не установлены, хотя по расположению полуразрушенных фрагментов пегматоидной жилы (скоплений порфирокластов калиевого полевого шпата (КПШ) и кварц-полевошпатовых агрегатов) в поздних тектонитах можно предположить сравнительно малоамплитудные смещения, возможно взбросового характера.*

*Исследованная просечка меланократовых тектонитов мощностью 8–10 см наблюдается на протяжении трех метров. Азимут падения ~240–260°, угол падения 45–55°, тогда как элементы залегания лейкократовых тектонитов: азимут падения 80°, угол падения 85°.*

*Меланократовые тектониты обладают мелкозернистой структурой и биотит-кварц-полевошпатовым составом, они отличаются бластомилонитовой мелкозернистой гранобластовой структурой, на фоне которой наблюдаются реликтовые порфирокласты КПШ и граната, а также мономинеральные кварцевые линзы, схожие с линзами у фоновых гранитогнейсах. Бластез достаточно совершенный, хотя в шлифах хорошо прослеживается бластомилонитовая природа сланцеватости. Повсеместно наблюдаются порфирокластические микрообъекты, являющиеся свидетельством несоосных деформаций и перманентного характера деформационных процессов и бластеза (хрупко-вязкого разрушения).*

*Факт пересечения лейкократовых тектонитов меланократовыми сомнений не вызывает. Остается нерешенным вопрос о временном соотношении этого деформационного эпизода с процессами палеопротерозойского гранитообразования. Проведенные микротектонические исследования свидетельствуют как раз о синхронности этих деформаций на поздних и постгранитизационных стадиях гранитообразования и существенной изменчивости напряженно-деформационных состояний в течение гранитизации.*

**Ключевые слова:** лейкократовые гранитогнейсы (политектониты), реликтовый порфирокласт, меланократовые бластомилониты.

УДК 551.24:432.2 (477-924.52)

Т. Андрієць, асп.  
Київський національний університет імені Тараса Шевченка  
ННІ "Інститут геології"  
вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна  
E-mail: tanya4la@gmail.com

## РЕКОНСТРУКЦІЯ ТЕКТОНІЧНОЇ ЕВОЛЮЦІЇ ВУЛКАНА СИНЯК (ВИГОРЛАТ-ГУТИНСЬКЕ ВУЛКАНІЧНЕ ПАСМО) В ПОСТМАГМАТИЧНІ ЕТАПИ ЗА ДАНИМИ СТРУКТУРНО-МОРФОМЕТРИЧНОГО АНАЛІЗУ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, доц. О. М. Іванік)

В Українських Карпатах одним з виразних результатів дії ендегенних процесів є Вигорлат-Гутинське вулканічне пасмо, формування якого завершилося в кінці пліоцену як наслідок активної магматичної діяльності. Серед вулканічних структур у північно-західній частині пасма виділяється стратовулкан Синяк, який характеризується доброю збереженістю первинних вулканічних форм, наявністю різновікових магматичних комплексів і добре виражений у рельєфі. Однак до сьогодні залишаються не до кінця з'ясованими питання наявності кальдер у структурі вулкана, визначення характеру просторового і часового розподілу амплітуд неотектонічних рухів у поствулканічні етапи, з'ясування рівня тектонічної активності. Зазначені питання є одними з найбільш складних, успішне їхнє вирішення можливе за рахунок аналізу комплексу геологічних, геофізичних і геоморфологічних даних. Метою досліджень є відтворення постмагматичних тектонічних процесів на основі аналізу розвитку рельєфу. Для досягнення цієї мети реалізовано методику структурної морфометрії В. Філософова з визначенням головних морфометричних показників рельєфу території. У результаті комплексного аналізу наявних геолого-геофізичних даних і структурно-морфометричних показників визначено числові характеристики неотектонічних вертикальних рухів і простежено їхні просторові і часові особливості в межах вулкану Синяк протягом чотирьох поствулканічних етапів. Установлено відмінності в тектонічному розвитку окремих частин вулкану – Грабівського вулканопольного підняття та вершинної кальдери. Виявлено високу просторову диференціацію амплітуд вертикальних рухів, їхній блоковий характер. Виділено дві локальні структури, що характеризуються високими значеннями амплітуд вертикальних рухів і диференційованим характером між етапами, структуру в центральній частині вершинної кальдери вулкана (г. Буз) та ділянку в межах Грабівського вулканопольного підняття (між г. Бердо та ур. Червоне).

Ключові слова: структурна морфометрія, новітні рухи, ГІС, рельєф, морфогенез.

**Постановка проблеми.** Вивченню геологічної будови, геофізики, тектоніки, петрографії, геоморфології Вигорлат-Гутинського вулканічного пасма присвячували свої роботи М. Коронівський, Є. Малєєв, В. Соболев, В. Радзивіл, Б. Мерліч, С. Спітківська, З. Ляшкевич, Я. Кравчук та багато інших. Результати різнобічних досліджень викладено в працях [1–9]. Незважаючи на значний обсяг накопичених даних, важливими питаннями, що до сьогодні залишаються невирішеними, є відтворення постмагматичної історії окремих вулканічних структур, визначення характеру просторово-часового розподілу амплітуд неотектонічних рухів, з'ясування рівня їхньої тектонічної активності. Залишається не до кінця з'ясованим також питання наявності кальдер у структурі давніх вулканів.

Оскільки структури Вигорлат-Гутинського вулканічного пасма добре виражені в сучасному рельєфі, є можливим використання геоморфологічних методів для дослідження особливостей їхньої будови та тектонічної еволюції. Одним із таких методів є структурно-морфометричний аналіз, запропонований В. Філософовим [10], який дозволяє виконати ґрунтовний аналіз сучасного рельєфу та на основі створених структурно-морфометричних моделей встановити взаємозв'язок процесів рельєфотворення з тектонічними процесами.

**Метою** досліджень є відтворення постмагматичних тектонічних процесів на основі аналізу розвитку рельєфу вулкану Синяк.

**Геологічна будова.** Вулкан Синяк, що розташований у північно-західній частині Вигорлат-Гутинського вулканічного пасма, належить до стратовулканів, діаметр його структури сягає 15 км. У центральній частині виділяється центральне інтрузивно-тектонічне підняття діаметром 5 км. Кільцеві розломи, що обмежують підняття, падають під кутом 70–80° від центру [3]. У структурі складної кальдери вогнища вулкану виділяються вершинна кальдери та Грабівське вулканопольне підняття (інтрузивно-купольна структура), яке в плані має форму еліпса розміром 5,5–4 км. Центральна її частина (до 3 км у діаметрі), що обмежується кільцевою зоною розлому, являє собою мульту, яка діагностується

ся за омолодженням порід від периферії до центру. У центральній частині наявна велика інтрузія, що складається з двох тіл краплеподібної форми, розділених розломом північно-східного простягання і клином осадових порід [7]. Ізогіпси донеогенової основи вулкана коливаються від –400 до –1200 м. Наявні матеківський, синяцький та обавський магматичні комплекси [3]. Матеківський комплекс ( $N_2mt$ ) – товща невитриманих за потужністю андезитових та андезито-базальтових лав, туфобрекчій, туфів потужністю до 350 м. Протягом матеківського часу вулкан Синяк являв собою стратовулкан. Після активної фази магматизму відбулося утворення кальдери. Наступна фаза вулканізму пов'язана з утворенням синяцького магматичного комплексу ( $N_2sn$ ), який незгідно перекриває матеківський ( $N_2mt$ ). Комплекс складається з декількох товщ ( $N_2sn_{1-5}$ ). Нижня ( $N_2sn_1$ ) представлена товщею ліпарито-дацитових лавобрекчій, туфобрекчій, туфів. Вище залягає товща дацитових, ліпарито-дацитових лав ( $N_2sn_2$ ). Товща ( $N_2sn_2$ ) перекривається озерно-алювіальними відкладами (глини, мергелі, піски, туфи) ( $N_2sn_3$ ). Пізніше вулканічна діяльність ознаменувалася утворенням потужних верхніх товщ ( $N_2sn_{4-5}$ ). Товща андезитових туфів, туфобрекчій та лавобрекчій з малопотужними прошарками лав, що виклинюються ( $N_2sn_4$ ), має потужність до 200 м. Товща ( $N_2sn_4$ ) перекрита потоками андезитових лав з невеликими прошарками туфів і туфобрекчій ( $N_2sn_5$ ) потужністю 150–200 м [9].

Структурно-морфометричні дослідження та реконструкція тектонічної еволюції. Для території басейну р. Латориця згідно з методикою В. Філософова в середовищі ГІС побудовано низку різнорівневих структурно-морфометричних поверхонь. Оскільки в межах вулкана наявні магматичні комплекси гірських порід, які є аномальними з погляду осадової акумуляції, карти залишкового рельєфу та різниці вершинні поверхні суміжних порядків є малоефективними. З огляду на вищу інформативність карт різниць різницевої вершинно-базисних поверхонь суміжних порядків, карт локального розмиву, базисних, вершинних поверхонь, різницевої базисних суміжних порядків геологічна інтерпретація в основному ґрунтується

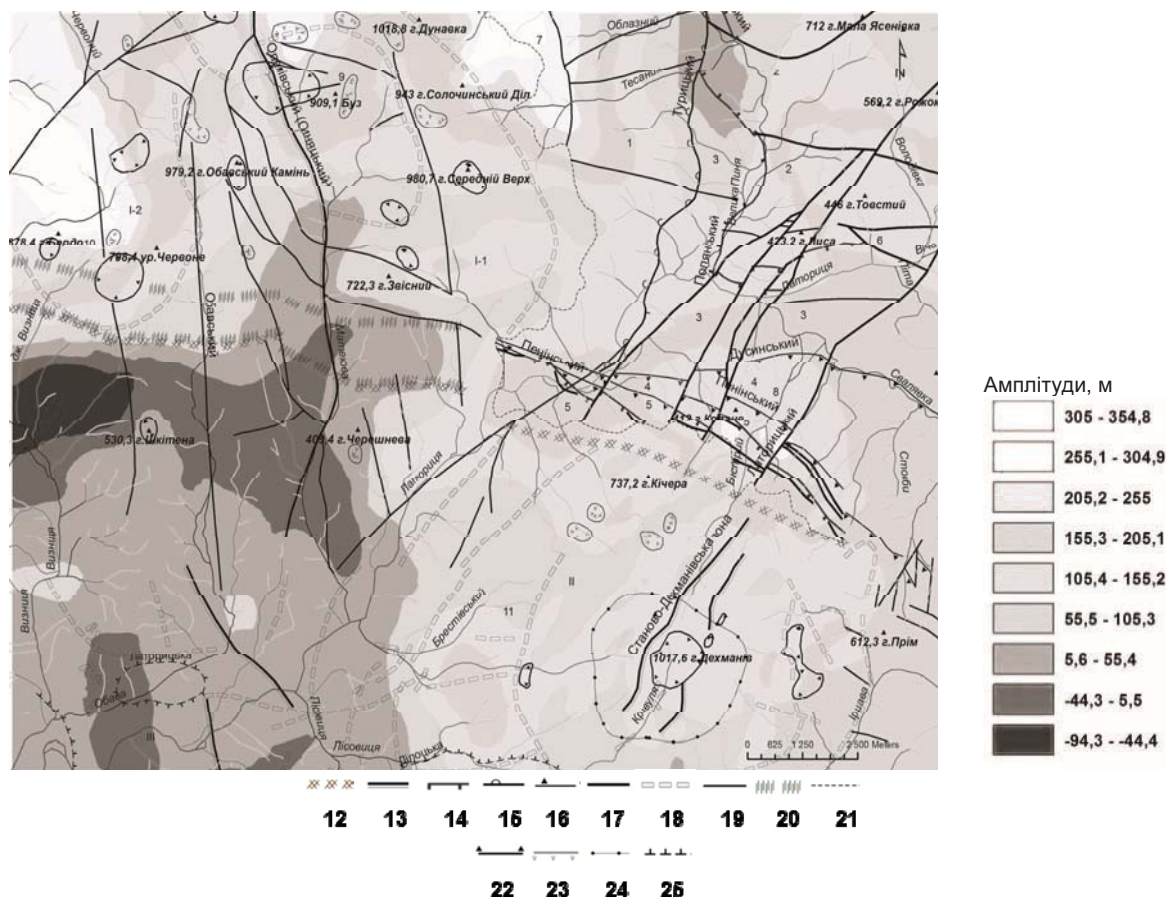
на аналізі цих карт. Слід зазначити, що в гірсько-складчастій області Карпат для вивчення неотектонічних рухів і тектоніки слід ширше використовувати не статичні морфометричні показники, а динамічні, які характеризують результат дії сукупності ендегенних та екзогенних процесів з визначенням імовірного впливу тих чи інших.

За даними структурно-морфометричного аналізу для вулкана Синяк визначено чотири етапи розвитку рельєфу протягом пліоцен-четвертинного часу. Оскільки головним фактором у формуванні рельєфу Карпатського регіону є неотектонічний, виділені етапи еволюції рельєфу корелюються з проявами неотектонічних вертикальних рухів.

Протягом I етапу в розподілі неотектонічних вертикальних рухів у межах різних структурних частин вулкана спостерігалася певна диференціація. Найвищі темпи підняття були характерні для Грабівського вулканокупольного підняття. Протягом цього етапу амплітуди тут змінювалися в широких межах – від 55 до 355 м (табл. 1) і зростали від периферійних ділянок до центральної, у межах якої сягали 305–355 м. Область характерних амплітуд ооконтурюється концентричним синвулканічним розломом (рис. 1). Очевидно, максимальні амплітуди підняття на цьому етапі були наслідком направленої вертикальної руху інтрузії в центральній частині Грабівської структури. Оскільки між інтрузивними тілами наявний клин оса-

дових порід, які представлені озерно-алювіальними відкладами ( $N_2sn_3$ ), упровадження інтрузивів відбулося вже після формування цих відкладів.

На відміну від Грабівського вулканокупольного підняття, вершинна кальдера вулкана зазнала менш інтенсивних підняття (рис. 1). Амплітуди вертикальних рухів в її межах змінювалися від 5,6 до 305 м (табл. 1). Підвищені значення амплітуд вертикальних рухів фіксувалися на північних ділянках кальдери (широта г. Дунавка). Максимальні амплітуди тут коливалися в межах 255,1–305 м і приурочені до центрів виверження в центральних частинах вершинної кальдери. Вертикальні рухи за Оленівським розломом мали блоковий характер, що свідчить про характерний розподіл амплітуд по різних крилах розлому. Підвищені значення їх фіксувалися на правому крилі, а значно нижчі – на лівому. За даними геологічного картування [9], ліве крило опущено відносно правого. Імовірно, саме вертикальні рухи в межах цього розлому пришвидшили процес руйнування центральної частини кальдери, що розпочався на цьому етапі та завершився протягом наступних. Утворення кальдерного пониження також фіксується за наявністю тут максимальних сумарних значень локального розмиву гірських порід на карті локального розмиву 5-го порядку. Загалом, протягом I етапу Грабівська структура зазнала підняття із середньою амплітудою 205 м, а вершинна кальдера вулкана – 155,3 м (табл. 1).



**Рис. 1. Розподіл амплітуд новітніх рухів протягом I етапу. Структурно-тектонічна схема. Вулканоструктури:**

I – Синяк (I-1 – вершинна кальдера, I-2 – Грабівське вулканокупольне підняття), II – Дехманів, III – Кучавська.

Блоки та луски: 1 – Турицька, 2 – Заломська, 3 – Свалявська, 4 – Сусковська, 5 – Пасікська. Локальні структури, виявлені за даними структурної морфометрії: 6, 7, 8, 9, 10, 11. Розломи: 12 – бортовий розлом Мукачівської депресії, 13 – довулканічний, 14 – насуви лусок, 15 – насуви підзон, 16 – насуви структурно-фаціальних зон, 17 – розломи круто падаючі, 18 – синвулканічний, 19 – інші; 20 – передбачуване продовження зони Пеннінських скель; 21 – межа магматичних комплексів.

Центри вивержень установлені: 22 – за геолого-геофізичними даними, 23 – за геофізичними даними;

24 – інтрузивно-вулканокупольні структури; 25 – екструзивно-купольні структури

Таблиця 1

## Розподіл амплітуд вертикальних рухів у межах вулкана Синяк

| Етапи | Структура                           | Амплітуди, м |             |         |                 |         |
|-------|-------------------------------------|--------------|-------------|---------|-----------------|---------|
|       |                                     | мінімальні   | максимальні | середні | сума за етапами | сумарні |
| IV    | Грабівське вулканокупольне підняття | 10           | 230,4       | 120,2   | 472,2           | 404,5   |
|       | Вершинна кальдера                   | 10           | 293,3       | 151,6   | 517             | 475,5   |
| III   | Грабівське вулканокупольне підняття | -67          | 200,2       | 66,6    |                 |         |
|       | Вершинна кальдера                   | -37          | 200,2       | 81,6    |                 |         |
| II    | Грабівське вулканокупольне підняття | -39,6        | 200,5       | 80,4    |                 |         |
|       | Вершинна кальдера                   | 8,5          | 248,5       | 128,5   |                 |         |
| I     | Грабівське вулканокупольне підняття | 55           | 355         | 205     |                 |         |
|       | Вершинна кальдера                   | 5,6          | 305         | 155,3   |                 |         |

З настанням II етапу спостерігалось загальне сповільнення темпів вертикальних рухів (рис. 2). Між Грабівським інтрузивно-купольним підняттям і вершинною кальдерою вулкана на цьому етапі фіксувалися відмінності у значеннях амплітуд новітніх рухів. Так, якщо протягом минулого етапу Грабівська структура характеризувалася максимальними амплітудами підняття, то на цьому етапі зафіксовано різке їхнє сповільнення до 8,5–56,4 м. На східному обрамленні структури амплітуди зростали до 200,5 м. Причиною різкого сповільнення вертикальних рухів могла бути наявність інтрузивного тіла. У місці перетину Грабівського вулканокупольного підняття, передбачуваного продовження зони Пеннінських скель і розлому меридіонального простягання значення амплітуд рухів опускалися до -39,6 м. Тут також наявний центр виверження з масивним інтрузивом, північно-західніше якого залягає сліпе інтрузивне тіло [9]. На

цьому етапі вершинна кальдера вулкана характеризувалася вищими значеннями амплітуд вертикальних рухів, що сягали 152,6–200,5 м. Область характерних значень оконтурювалася синвулканічними розломами. Локальні максимальні амплітуди (200,6–248,5 м) просторово співвідносяться з центрами виверження. У центральній частині кальдери амплітуди вертикальних рухів знижувалися до 8,5–56,4 м. Тут наявний центр виверження, який на цьому етапі зазнав часткового руйнування. Протягом II етапу максимального руйнування зазнала також центральна частина вулкана. Зазначені процеси підтверджуються підвищеними сумарними значеннями локального розмиву гірських порід і зниженими амплітудами коливання базисів ерозії. Таким чином, протягом II етапу Грабівське вулканокупольне підняття зазнало висхідних рухів із середньою амплітудою 80,4 м, вершинна кальдера вулкана – 128,5 м (табл. 1).

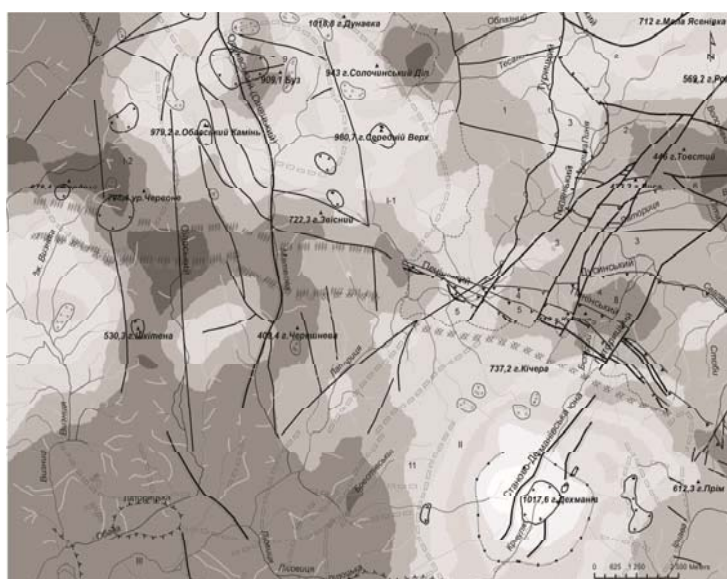


Рис. 2. Розподіл амплітуд новітніх рухів протягом II етапу (див. умовні позначки на рис. 1)

Протягом III етапу амплітуди за знаком були близькі до тих, що спостерігалися за весь II етап, але характеризувалися певною диференціацією за площею (рис. 3). У межах східної частини вершинної кальдери зафіксовано вертикальні рухи, амплітуди яких у середньому дещо знизилися порівняно з II етапом і змінювалися від 22,4 до 111,2 м. Поблизу г. Дунавка значення амплітуд становили 200,2 м. Навпаки, у західній частині вершинної кальдери фіксувалося зростання амплітуд рухів порівняно з попереднім етапом до 171–200,2 м. Максимуми просторово тяжіли до центрів виверження (г. Обавський Камінь). Також область максимальних амплітуд вертикальних рухів збігається з простяганням Оленівського розлому та зоною перетину останнього із системою субширотних розломів (широта г. Звісний). На цьому етапі відбулося руйнування центру виверження у верхів'ї правої

притоки р. Матекова та центральної частини кальдери вулкана в долині р. Матекова. Це фіксується за максимумами сумарних значень розмитих гірських порід і зниженими амплітудами коливання базисів ерозії. Очевидно, III етап характеризує розподіл неотектонічних вертикальних рухів після останньої фази вулканізму. Пізніше схили вулкана являли собою область розмиву та знесення продуктів руйнування до підніжжя або до локальних понижень. Одним із давніх осередків акумуляції є підніжжя г. Буз, складене пролювіально-делювіальними відкладами (N2–Q1), що представлені глинами, суглинками з валунами ефузивних порід [9]. Загалом, протягом III етапу в межах Грабівського вулканокупольного підняття середні амплітуди вертикальних рухів становили близько 66,6 м, а вершинна кальдера вулкана зазнала підняття з амплітудою 81,6 м (табл. 1).

Протягом останнього (IV) етапу фіксувалося незначне зростання амплітуд вертикальних неотектонічних рухів, що особливо спостерігалось в межах вершинної кальдери вулкана (рис. 4). Тут амплітуди підняття становили 104,5–167,4 м, але місцями сягали 293,3 м. Зокрема, локальний осередок аномально високих амплітуд (262–293,3 м) фіксувався на півночі центральної частини вершинної кальдери (г. Буз). У межах Грабівської

структури та західної частини вершинної кальдери амплітуди вертикальних рухів були дещо нижчими, 10–136 м і локально зростали до 230,4 м. Загалом, протягом IV етапу в межах Грабівського вулканокупольного підняття амплітуди неотектонічних вертикальних рухів становили 120,2 м, а вершинної кальдери вулкана – 151,6 м (табл. 1).

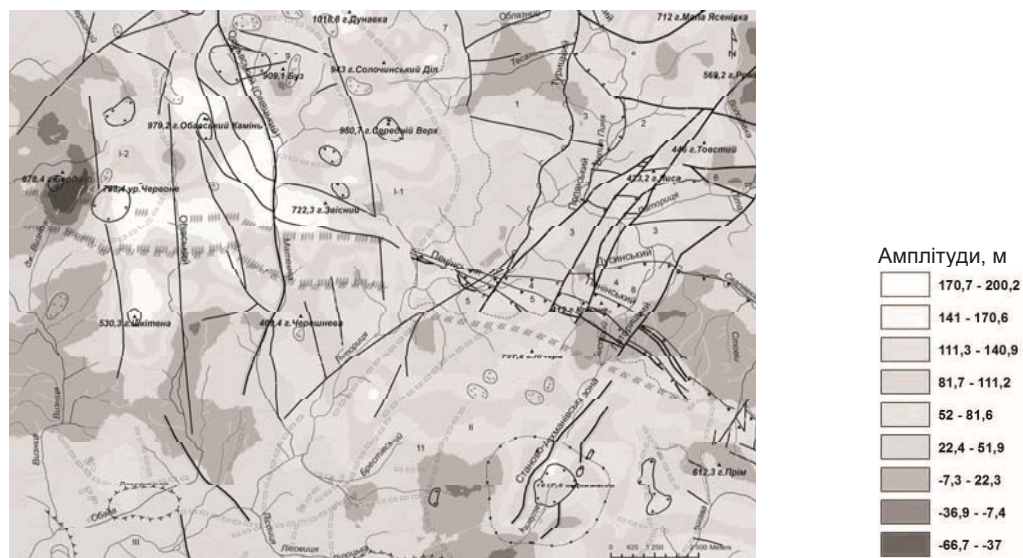


Рис. 3. Розподіл амплітуд новітніх рухів протягом III етапу (див. умовні позначки на рис. 1)



Рис. 4. Розподіл амплітуд новітніх рухів протягом IV етапу (див. умовні позначки на рис. 1)

Визначено, що сумарні значення амплітуд вертикальних рухів протягом чотирьох етапів у межах Грабівської структури становили 404,5 м, а сума середніх значень амплітуд за етапами – 472,2 м, відповідно, вершинна кальдери вулкана зазнала сумарних підняття з амплітудою 475,5 м, а сума середніх амплітуд за етапами становить 517 м (табл. 1).

З аналізу просторово-часових характеристик амплітуд вертикальних тектонічних рухів та їхньої зміни протягом етапів виявлено локальні структури: 1) ділянка в центральній частині вершинної кальдери вулкана Синяк (г. Буз), що приурочена до маркувальних пластів щільних туфобрекчій і лав синяцького магматичного комплексу (N2sn). Висока диференціація амплітуд вертикальних рухів тут фіксувалася протягом III та IV етапів. У III етапі амплітуди коливалися в межах –37–52 м

(рис. 3), протягом IV етапу – стрімке зростання до 167,5–293,3 м (рис. 4); 2) ділянка в межах Грабівського вулканокупольного підняття (між г. Бердо та ур. Червоне). Протягом II етапу амплітуди тут опускалися до –39,6 м (рис. 2), III етапу – амплітуди рухів знизилися до –67 м зі зміщенням області характерних значень на захід (рис. 3).

**Висновки.** У результаті комплексного аналізу наявних геолого-геофізичних даних і структурно-морфометричних показників визначено числові характеристики неотектонічних вертикальних рухів і простежено їхні просторові й часові особливості в межах вулкана Синяк протягом чотирьох поствулканічних етапів. Установлено відмінності в тектонічному розвитку окремих частин вулкана – Грабівського вулканокупольного підняття та вершинної кальдери. Зафіксова-

но процес руйнування вершинної кальдери вулкана. Виявлено високу просторову диференціацію амплітуд вертикальних рухів, їхній блоковий характер. Виділено дві локальні структури, що характеризуються високими значеннями амплітуд вертикальних рухів і диференційованим характером між етапами. Зокрема, до таких структур належать ділянка в центральній частині вершинної кальдери вулкана (г. Буз) та ділянка в межах Грабівського вулканокупольного підняття (між г. Бердо та ур. Червоне).

#### Список використаних джерел

1. Круглов С. С. Геодинамика Карпат / С. С. Круглов, С. Е. Смирнов, С. М. Спитковская и др. – К. : Наук. думка, 1985. – 136 с.  
Kruglov S.S., Smirnov S.E., Spitkovskaya S.M. et al., (1985). Geodynamics of the Carpathians [Geodynamika Karpat]. Kyiv, 136 p. (In Russian)
2. Ляшкевич З. М. Кайнозойский вулканизм Украинских Карпат и его значение для геодинамических реконструкций / З. М. Ляшкевич // Геофиз. журн. – 2004. – № 26. – С. 87–95.  
Lyashkevych Z.M., (2004). The Cainozoic volcanism of the Ukrainian Carpathians and its value for geodynamic reconstructions [Kainozoiskiy vulkanizm Ukrainiskih Karpat i ego znachenie dlya geodinamicheskikh rekonstruktsiy]. Geofizicheskij zhurnal – Geophysical journal, 26, 87–95. (In Russian)
3. Максимчук Б. Ю. Дослідження сучасної геодинаміки Українських Карпат / Б. Ю. Максимчук, В. Г. Кузнецова, Т. З. Вербицький та ін. – К. : Наук. думка, 2005. – 256 с.  
Maksymchuk B. Y., Kuznetsova V.G., Verbytskyi T. Z. et al., (2005). Recent geodynamics research of the Ukrainian Carpathians [Doslidzhennya suchasnoyi geodynamiky Ukrainyskyh Karpat]. Kyiv, 256 p. (In Ukrainian)
4. Малеев Е. Ф. Неогеновый вулканизм Закарпатья / Е. Ф. Малеев. – М. : Наука, 1964. – 252 с.  
Maleev E.F. (1964). The Neogene volcanism of Zakarpattia [Neogenovyy vulkanizm Zakarpattia]. Moscow, 252 p. (In Russian)
5. Мацьків Б. В. Державна геологічна карта України масштабу 1:200 000, арк. М-34-XXIX (Сніна), М-34-XXXV (Ужгород), L-34-V (Сату-Маре) / Б. В. Мацьків, Ю. В. Ковальов, Б. Д. Пукач, В. М. Воробканич. – К., 2003. – 96 с.

T. Andriets, Postgraduate Student  
Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv  
90 Vasylkivska Str., Kyiv, 03022 Ukraine  
E-mail: tanya4la@gmail.com

### TECTONIC EVOLUTION OF MOUNT SYNIAK (THE VYHORLAT-HUTYN VOLCANIC CHAIN) IN POSTMAGMATIC STAGES: A RECONSTRUCTION BASED ON STRUCTURAL MORPHOMETRY

*Active magmatism gave rise to the Vyhorlat-Hutyn volcanic mountain chain, which had formed by the late Pliocene and is a recent indication of endogenous processes in the Ukrainian Carpathians. Mount Syniak – a stratovolcano in the NW part of the chain – has preserved its original shape, heterochronous igneous complexes and is well-marked among the landforms. However, little evidence has been collected concerning the presence of volcanic calderas, spatial and temporal distribution of neotectonic movement amplitude in the postvolcanic stages, and the tectonic activity level. These complex issues can only be clarified by analyzing a sufficient bank of geological, geophysical and geomorphological data. The goal of this research is to reconstruct the postmagmatic tectonic processes based on relief analysis. B. Filosofov's structural morphometry technique has been employed to determine the main relief indices. A complex analysis of geological, geophysical data and structural-morphometric indices yielded numerical parameters of the neotectonic vertical movements and their spatial-temporal patterns for Mount Syniak in the four postmagmatic stages. Differences in the tectonics of Grabowsk volcanic dome and the summit caldera have been determined. The summit caldera has been proved to show indications of destruction. There have been identified two local structures with high values of vertical movement amplitude: the central part of the volcano's summit caldera (m. Buz) and a section within the Grabowsk volcanic dome (between m. Berdo and h. Chervone).*

**Keywords:** structural morphometry, neotectonic movements, GIS, relief, morphogenesis.

T. Андриец, асп.  
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, УНИ "Институт геологии"  
ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина  
E-mail: tanya4la@gmail.com

### РЕКОНСТРУКЦИЯ ТЕКТОНИЧЕСКОЙ ЭВОЛЮЦИИ ВУЛКАНА СИНЯК (ВЫГОРЛАТ-ГУТИНСКАЯ ВУЛКАНИЧЕСКАЯ ГРЯДА) В ПОСТМАГМАТИЧЕСКИЕ ЭТАПЫ ПО ДАННЫМ СТРУКТУРНО-МОРФОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

*В Украинских Карпатах одним из результатов действия эндогенных процессов является Выгорлат-Гутинская вулканическая гряда, формирование которой завершилось в конце плиоцена как следствие активной магматической деятельности. Среди вулканических структур в северо-западной части гряды выделяется стратовулкан Синяк, который характеризуется сохранностью первичных вулканических форм, наличием разновозрастных магматических комплексов и хорошо выражен в рельефе. Тем не менее, до сих пор не до конца выясненными остаются вопросы наличия кальдер в структуре вулкана, определения характера пространственного и временного распределения амплитуд неотектонических движений в поствулканических этапах и уровня тектонической активности. Успешное решение этих наиболее сложных вопросов возможно благодаря анализу комплекса геологических, геофизических и геоморфологических данных. Целью исследования является восстановление постмагматических тектонических процессов на основе анализа развития рельефа. Для достижения этой цели использовалась методика структурной морфометрии В. Философова с определением главных морфометрических показателей рельефа территории. В результате комплексного анализа геолого-геофизических данных и структурно-морфометрических показателей определены числовые характеристики неотектонических вертикальных движений, их пространственно-временные особенности в пределах вулкана Синяк в течение четырех поствулканических этапов. Установлены различия в тектоническом развитии отдельных частей вулкана – Грабовского вулканокупольного поднятия и вершинной кальдеры. Зафиксирован процесс разрушения вершинной кальдеры вулкана. Выявлены две локальные структуры, которые характеризуются высокими значениями амплитуд вертикальных движений и их дифференцированным характером: структура в центральной части вершинной кальдеры вулкана (г. Буз) и участок в пределах Грабовского вулканокупольного поднятия (между г. Бердо и ур. Червоное).*

**Ключевые слова:** структурная морфометрия, новейшие движения, ГИС, рельеф, морфогенез.

- Matskiv B.V., Kovalov Y.V., Pukach B.D., Vorobkanych V.M., (2003). State geological map of Ukraine, 1:200 000 scale, M-34-XXIX (Snina), M-34-XXXV (Uzhgorod), L-34-V (Satu Mare) sheets [Derzhavna geologichna karta mashtabu 1:200 000, erkushi M-34-XXIX (Snina), M-34-XXXV (Uzhgorod), L-34-V (Satu Mare)]. Kyiv, 96 p. (In Ukrainian)
6. Палиєнко В. П. Сучасна динаміка рельєфу України / В. П. Палиєнко, А. В. Матос, М. Є. Барщевський та ін. – К. : Наук. думка, 2005. – 268 с.  
Palienko V.P., Matosh M.E., Barshevskyy M.E. et al., (2005). Recent relief dynamics of Ukraine [Suchasna dynamika relefu Ukrainy]. Kyiv, 268 p. (In Ukrainian)
7. Радзивилл А. Я. Тектоно-магматические структуры неогена (Региональная геотектоника Украины) / А. Я. Радзивилл, В. Я. Радзивилл, В. С. Токовенко. – К., 1986. – 160 с.  
Radzivil A.Y., Radzivil V.Y., Tokovenko V.S., (1986). The Neogene tectonic-magmatic structures (Regional geotectonics of Ukraine) [Tektono-magmaticheskie struktury neogeya (Regionalnaya geotektonika Ukrainy)]. Kyiv, 160 p. (In Russian)
8. Соболев В. С. Петрография неогеновых вулканических и гипабиссальных пород Советских Карпат / В. С. Соболев, В. П. Костюк, А. П. Бобриевич и др. – К. : Изд-во АН УССР, 1955. – 248 с.  
Sobolev V.S., Kostyuk V.P., Bobrievich A.P. et al., (1955). The Neogene volcanic and hypabyssal rocks petrography of Soviet Carpathians [Petrografia neogenovyh vulkanicheskikh i gipabissalnyh porod Sovetskikh Karpat]. Kyiv, 248 p. (In Russian)
9. Тарасенко В. И. Отчет по геологическому доизучению площади листов М-34-118-Г и М-34-130-Б (Свалыава) в масштабе 1:50000 за 1978–1982 гг. : в 6 т. / В. И. Тарасенко, А. А. Пудгородский, В. Ю. Щербанюк и др. – Берегово, 1982.  
Tarasenko V.I., Pudgorodskiy A.A., Scherbanyuk V.Yu. et al., (1982). Geological structure research of M-34-118-G, M-34-130-B sheets (Svalyava) (1:50000 scale) report for the years 1978-1982 in 6 vol. [Otchet po doizucheniyu geologicheskogo stroeniya ploschdi listov M-34-118-G, M-34-130-B (Svalyava) v masshtabe 1:50000 za 1978-1982 goda: v 6 t.]. Beregovo. (In Russian)
10. Философов В. П. Основы морфометрического метода поисков тектонических структур / В. П. Философов. – Саратов, 1975. – 232 с.  
Filosofov V.P., (1975). The morphometric method rudiments of tectonic structures search [Osnovy morfometricheskogo metoda poiskov tektonicheskikh struktur]. Saratov, 232 p. (In Russian)

Надійшла до редколегії 17.10.14

## МІНЕРАЛОГІЯ, ГЕОХІМІЯ ТА ПЕТРОГРАФІЯ

УДК. 551.1./4+552.1+550.4

С. Шнюков, д-р геол. наук, доц.  
E-mail: shnyukov@mail.univ.kiev.ua,І. Лазарева, канд. геол. наук, доц.  
E-mail: lazareva@mail.univ.kiev.ua,Ю. Никанорова, асп.  
E-mail: juliyaasos@ukr.net,В. Морозенко, канд. геол. наук, старш. наук. співроб.  
E-mail: morozenko@mail.univ.kiev.uaКиївський національний університет імені Тараса Шевченка,  
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, УкраїнаПОДІБНІСТЬ І ВІДМІННОСТІ ОРЕОЛІВ ФЕНІТИЗАЦІЇ ПЕНЧЕНГІНСЬКОГО  
ТА ЧЕРНІГІВСЬКОГО КАРБОНАТИТОВИХ МАСИВІВ

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

Досліджено мінералого-петрографічні й геохімічні особливості карбонатитів та ореолів фенітизації двох карбонатитових масивів лінійного структурно-морфологічного типу: Пенченгінського (Єнісейський кряж) та Чернігівського (Приазов'я). Мета роботи полягала у виявленні та подальшому зіставленні закономірностей змінення мінеральних асоціацій та поведінки петрогенних і мікроелементів у процесі розвитку ореолу фенітизації по різноманітних породах (силікатних і карбонатних). Для досягнення мети проведено такі види робіт: петрографічні дослідження в прозорих шліфах з визначенням мінерального складу та структурно-текстурних особливостей порід, рентгено-флуоресцентний аналіз з визначенням головних петрогенних і мікроелементів, інтерпретацію одержаних фактичних даних. У результаті: (1) виявлено подібність напрямку зміни мінеральних асоціацій у процесі фенітизації вихідних порід різного складу (силікатних і карбонатних) для обох досліджуваних масивів (повне зникнення таких реліктових мінералів, як кварц, біотит і рогова обманка і поява новоутвореного парагенезису: лужні амфіболи, флогопіт, кальцит; підвищення вмісту апатиту й піротину, а також поява пірохлору і сфену); (2) встановлено, що в обох випадках головним напрямом зміни контрастних типів вихідних порід у ході фенітизації є конергентність їхніх мінеральних і хімічних композицій; (3) за характером поведінки головних і мікроелементів у процесі фенітизації для кожного з масивів виділено три групи елементів, а саме: елементи привнесення, виносу та перерозподілу; (4) склад відповідних груп відображає деяку відмінність у геохімічній спеціалізації масивів, яка підкреслюється й відсутністю нефелінових порід у Пенченгінському масиві на відміну від Чернігівського; (5) уперше виявлено спільні риси та відмінності Пенченгінського та Чернігівського карбонатитових масивів і запропоновано єдиний для обох масивів мультиплікативний геохімічний показник зональності, який об'єктивно відображає зростання ступеня перетворення контрастних за композицією вмісних порід. Застосування такого показника сприяє значному збільшенню розмірів пошукової мішені за межі, які дозволяють зафіксувати прямі петрографічні дослідження.

**Ключові слова:** карбонатитові масиви, фенітизація, Приазов'я, Український щит, Єнісейський кряж.

**Вступ.** Карбонатитові масиви порівняно рідкісного лінійного структурно-морфологічного типу є важливим потенційним джерелом фосфатної сировини і широкої гами рідкісних металів (Nb, Ta, LREE, Sr). Як окрема субформація [2], а потім і формаційний тип [3, 7, 10, 12, 14, 16], лінійні карбонатитові масиви, які суттєво відрізняються за багатьма параметрами від класичних комплексів центрального типу [4], виділені в другій половині ХХ ст. Типовими представниками цього формаційного типу є масиви: Чернігівський (Приазов'я) [3, 7, 10, 12, 14–20], Пенченгінський (Єнісейський кряж) [2–4, 11, 13, 15–16], Дубравинський (КМА) [1, 3–4, 8], Ільмено-Вишневогірський (Урал) [2, 4, 12–14, 16], Сілінярві (Фінляндія) [2, 4, 22], Лонні (Канада) [23–24], Сангу-Ікола (Танзанія) [25].

Ефективність пошукових робіт багато в чому залежить від вирішення багатьох теоретичних питань, пов'язаних з особливостями речовинного складу та генезисом цих утворень. Не останнє місце в низці нерозв'язаних на сьогодні проблем посідає проблема походження рудного навантаження карбонатитів [5–7, 10, 11, 13, 19, 23, 25]. Важливими методами, які застосовуються при геологорозвідувальних роботах, направлених на пошуки подібних об'єктів, є мінералого-петрографічні та геохімічні, які використовують широкі ореоли розсіювання, що в першому наближенні збігаються з фенітовими ореолами масивів і за розмірами значно перевищують розміри власне карбонатитових тіл. Тому дослідження мінералого-петрографічних і геохімічних особливостей карбонатитів та ореолів фенітизації сприяють збільшенню пошукової мішені, що зумовлює актуальність роботи.

**Мета** цієї роботи – виявлення і подальше зіставлення закономірностей змінення мінеральних асоціацій та по-

ведінки петрогенних і мікроелементів у процесі розвитку ореолу фенітизації по різноманітних (силікатних і карбонатних) вихідних породах для двох типів карбонатитових масивів лінійного структурно-морфологічного типу: Пенченгінського (ПКМ) та Чернігівського (ЧКМ). При цьому розв'язувалися такі задачі: (1) дослідження зміни мінеральних асоціацій зональних фенітових ореолів ПКМ та ЧКМ, а також вивчення композиції карбонатитів ПКМ із зіставленням одержаних даних з наявними [10, 17–19] для ЧКМ; (2) дослідження поведінки петрогенних та мікроелементів у процесі фенітизації різноманітних порід рами ПКМ (карбонатні, силікатні) та ЧКМ (основні, середні та кислі); (3) розробка уніфікованого геохімічного коефіцієнта зональності фенітових ореолів.

Геологічна характеристика Пенченгінського та Чернігівського карбонатитових масивів. ПКМ та ЧКМ розташовані, відповідно, у межах Центрально-Ангарського терейну Єнісейського кряжу та Приазовського мегаблоку Українського щита. Обидва масиви приурочені до зон глибинних розломів субмеридіонального простягання (Татарського та Чернігівського відповідно), залягають субзгідно до вмісних товщ у вигляді серій крутопадаючих тіл карбонатитів різноманітної морфології, супроводжуються потужними екзоконтактовими ореолами лужних метасоматитів (фенітів), мають досить великі лінійні розміри (простежені по простяганням на 25–30 км) та розбиті на низку блоків сіткою поперечних і діагональних розломів більш високих порядків [5–7, 9–11, 16, 19]. Характерною є однотипова (апатит-рідкіснометалічна) рудна спеціалізація масивів та їхній досить високий промисловий потенціал. Сучасні оцінки віку формування ПКМ і ЧКМ становлять (млрд р.): 0,672±0,093 (Sm-Nd метод [6]) та ~2,09±0,015 (ізохрона по цирконах [21]) відповідно.

Породи рами ПКМ представлені нижньо- та верхньопротерозойськими метаморфітами пенченгінської (кальцитові мармури з прошарками доломітових мармурів) та кординської (кварц-серіцитові та кварц-мусковіт-біотитові сланці) світ, а також згідними пластовими тілами верхньопротерозойських метабазитів (амфіболітів). ЧКМ оточений різною мірою мігматизованими архейськими метаморфітами (амфіболітова та гранулітова фації) західно-приазовької серії: амфіболітами, піроксен-амфіболовими кристалосланцями, плагіо- та плагіоклаз-калішпатовими гнейсами піроксен-амфібол-біотитового, амфібол-біотитового та біотитового складу. Загалом переважають піроксен-амфібол-біотитові та амфібол-біотитові гнейси, а амфіболіти та кристалосланці утворюють малопотужні пачки. Жильна складова мігматитів ЧКМ (граніт-апліти та апліто-пегматоїдні граніти), займаючи до 50 % об'єму, наближує середню композицію цієї строкатої товщі до гранітоїдної.

Найбільш контрастною відміною є відсутність мармурів у складі рами Чернігівського масиву, що значною мірою впливає на характер продуктів фенітизації (представлені метасоматити апогранітового, апогнейсового, апоамфіболітового та апометаультрабазитового рядів) [19].

Мінералого-петрографічна характеристика провідних типів порід. Петрографічно в межах цієї роботи досліджено лише породи ПКМ. Для ЧКМ переважно використано дані з робіт [7, 10, 17–18].

У процесі фенітизації силікатної складової порід рами ПКМ спостерігається поступова зміна парагенезисів, яка полягає в повному зникненні таких реліктових мінералів, як кварц, біотит та рогова обманка і появи новоутвореного парагенезису: лужні амфіболи (арфведсоніт, рихтерит), флогопіт, кальцит (рис. 1 а, б). Асоціація акцесорних мінералів змінюється в напрямку підвищення вмісту апатиту і піротину, що супроводжується по-

явою пірохлору, сфену, титаномagnetиту та ільменіту. Концентрації акцесорних циркону та магнетиту не змінюються. У процесі перетворень карбонатної складової від мармурів різного складу до апокарбонатних фенітів (рис. 1 в, г) набір новоутворених мінералів повністю відповідає новоутвореному парагенезису апосилікатних порід: лужні амфіболи (арфведсоніт, рихтерит), флогопіт, кальцит. Те саме стосується й акцесорних мінералів [11]: зростає вміст апатиту і піротину, з'являється пірохлор, сфен. Відмінність полягає лише в тому, що замість ільменіту в апокарбонатних фенітах присутній ільменорутит. Отже, у процесі фенітизації спостерігається зближення композицій новоутворених (апосилікатних і апокарбонатних) порід, про що свідчить загальна подібність їхніх мінеральних парагенезисів.

Напрямок зміни мінеральних парагенезисів в утвореннях ЧКМ подібний до напрямку змін, що простежений для ПКМ: повне зникнення кварцу, реліктового клінопіроксену та майже повне рогової обманки і середніх плагіоклазів, крім того, поява новоутворених альбіту, мікрокліну, егірину та лужних амфіболів (рихтерит, еденіт, гастінгсит). Щодо акцесоріїв, то для новоутвореного парагенезису характерні сфен, апатит, ортит і магнетит [7, 10].

Серед карбонатитів ПКМ за структурними ознаками виділяються два типи: пегматоїдні (анхімономінеральні) і трахітоїдні. Переважають кальцит-доломітові різновиди, але зустрічаються і суттєво доломітові [6, 11]. Обидва типи відрізняються лише вмістом, а не композицією силікатної складової (5–10 об. % і 30–40 об. % відповідно), яка представлена мінералами: флогопітом (7 об. %), арфведсонітом або рихтеритом у рівних співвідношеннях (до 30 об. %). Карбонатити збагачені апатитом (до 5–15 %). Серед рудних мінералів переважають пірохлор і піротин, крім того, зустрічаються колумбіт, ферсміт, ільменорутит, молібденіт і халькопірит [11].

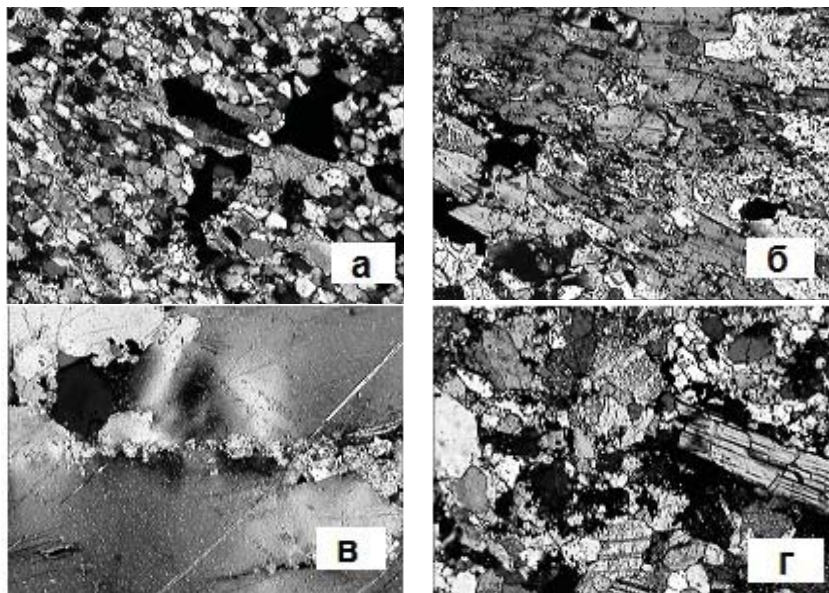


Рис. 1. Мікрофотографії шліфів, що ілюструють перетворення в процесі фенітизації вмісних порід ПКМ (а, б) силікатної (кристалосланці) та (в, г) карбонатної (мармури) композиції  
Збільшення: а, в, г – 4 х; б – 10 х; ніколи +

Карбонатити ЧКМ [7, 10, 20] представлені різновидами: суттєво кальцитовими (сьовіти, альвікіти), кальцит-доломітовими та суттєво доломітовими (бефорсити) зі значним переважанням останніх. Вміст силікатної складової в них коливається від 5 до 30 %. Серед севітів, залежно від асоціації силікатних мінералів, виділяють різновиди: клінопіроксенові (з біотитом та амфіболом); амфібол-біотитові та біотит-амфіболові; біотитові.

Вміст апатиту в севітах становить 5–7 %. Акцесорні та рудні мінерали представлені пірохлор-гачетолітом, колумбітом, цирконом, сфеном, монацитом, ортитом, магнетитом і сульфідами. Асоціація породоутворювальних мінералів альвікітів включає: кальцит, флогопіт, олівін, діопсид (або егірін-діопсид), амфібол, апатит і магнетит. Вміст апатиту – до 12–15 %. Серед акцесорних і рудних мінералів: циркон, ільменіт, сульфід, рід-

ше – анатаз, пірохлор-гатчетоліт, колумбіт, монацит. Бефорсити, домінуючий різновид карбонатитів масиву, складені такими мінералами: карбонати (переважний доломіт, кальцит), олівін, флогопіт, апатит, магнетит. Можуть зустрічатися анхімономінеральні різновиди. Вміст апатиту сягає 10 %. Асоціація акцесорних мінералів включає: колумбіт, фергюсоніт, пірохлор-гатчетоліт, бадделеїт, циркон, монацит, сульфід.

Отже, для карбонатитів обох масивів характерним є переважання кальцит-доломітових або суттєво доломітових різновидів порід; вміст силікатних мінералів не перевищує 30–40 %, притаманний підвищений вміст апатиту; подібною є й композиція акцесорних мінералів. Відрізняє ЧКМ лише присутність невеликої кількості піроксену та олівіну (напевно, більш високотемпературні умови утворення) та менша поширеність амфіболу (гастінгситу).

Поведінка петрогенних і мікроелементів у процесі фенітизації порід рами різного складу. Установлені закономірності поведінки хімічних елементів у процесі фенітизації різноманітних за складом порід рами відображають особливості процесу перетворення. Так, за співвідношенням сумарного вмісту Na і K та кремнезему серед порід обох масивів виділяються контрастні типи, що відповідають: карбонатним і силікатним для Пенченгінського; основним, середнім і кислим для Чернігівського масиву. З підвищенням ступеня фенітизації різних і навіть контрастних за складом порід спостерігається закономірне зближення композицій новоутворених фенітів (рис. 2 а, б). Це також помітно і при зіставленні складу порід і головних новоутворених мінеральних фаз (рис. 2 в, г).

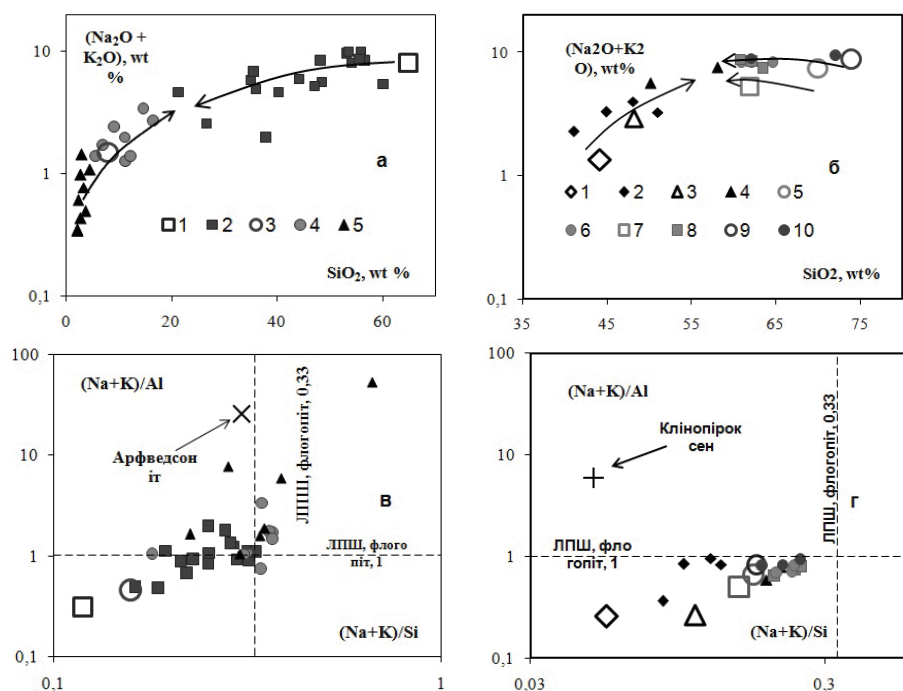


Рис. 2. Залежність сумарного вмісту Na та K від вмісту кремнезему в породах Пенченгінського (а) та Чернігівського (б) карбонатитових масивів. Зіставлення складу (атомні кількості) порід і новоутворених мінеральних фаз (пунктирні лінії) ПКМ (в) та ЧКМ (г).

Умовні позначення (а, в): 1, 2 – майже незмінені (1) та фенітизовані (2) силікатні породи рами; 3, 4 – майже незмінені (3) та фенітизовані (4) мармури; 5 – карбонатити (дані роботи [6]). Умовні позначення (б, г): 1, 2, 3, 4 – фенітизовані (2, 4) та майже незмінені (1, 3) породи рами основного складу; 5, 6, 7, 8 – фенітизовані (6, 8) та майже незмінені (5, 7) породи рами середнього складу; 9, 10 – фенітизовані (10) та майже незмінені (9) породи рами кислого складу

За характером поведінки головних і мікроелементів у процесі фенітизації для кожного з масивів виділено три групи елементів, а саме: привнесення, виносу та перерозподілу (табл. 1).

Очевидно, що групи привнесення і перерозподілу багато в чому подібні. Але склад відповідних груп відображає деяку відмінність у геохімічній спеціалізації масивів. У першу чергу, це стосується Na, який потрапляє до групи привнесення в ЧКМ і, навпаки, до групи виносу в ПКМ та K, що поводить себе майже протилежно. Так само до групи привнесення ПКМ потрапили Fe і Mn, хоч для порід ЧКМ характерний перерозподіл цих елемен-

тів. Такі розбіжності знаходять своє відображення і в композиціях новоутворених мінералів.

Зіставлення простеження особливостей розподілу хімічних елементів у породах обох карбонатитових масивів і характер їхньої поведінки в ході метасоматичних перетворень дозволяє запропонувати уніфікований мультиплікативний геохімічний показник зональності ореолів фенітизації ( $K_g$ ), в якому застосовані лише типові елементи групи привнесення:  $K_g = La \times Ce \times Sr \times Zn$ . Як видно з рис. 3, значення  $K_g$  закономірно зростає на декілька порядків з підвищенням ступеня фенітизації.

Таблиця 1

Виділені групи головних і мікроелементів за характером поведінки в процесі фенітизації

| Група         | Пенченгінський масив                | Чернігівський масив              |
|---------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| перерозподілу | Si, Al, Ti, Ca, Mg, C               | Si, Al, Ti, C, Ca, Mg, K, Fe, Mn |
| привнесення   | K, Fe, Mn, F, P, Nb, Sr, La, Ce, Zn | Na, Sr, Nb, P, La, Ce, Zn        |
| виносу        | Na(?), Ba                           | V(?)                             |

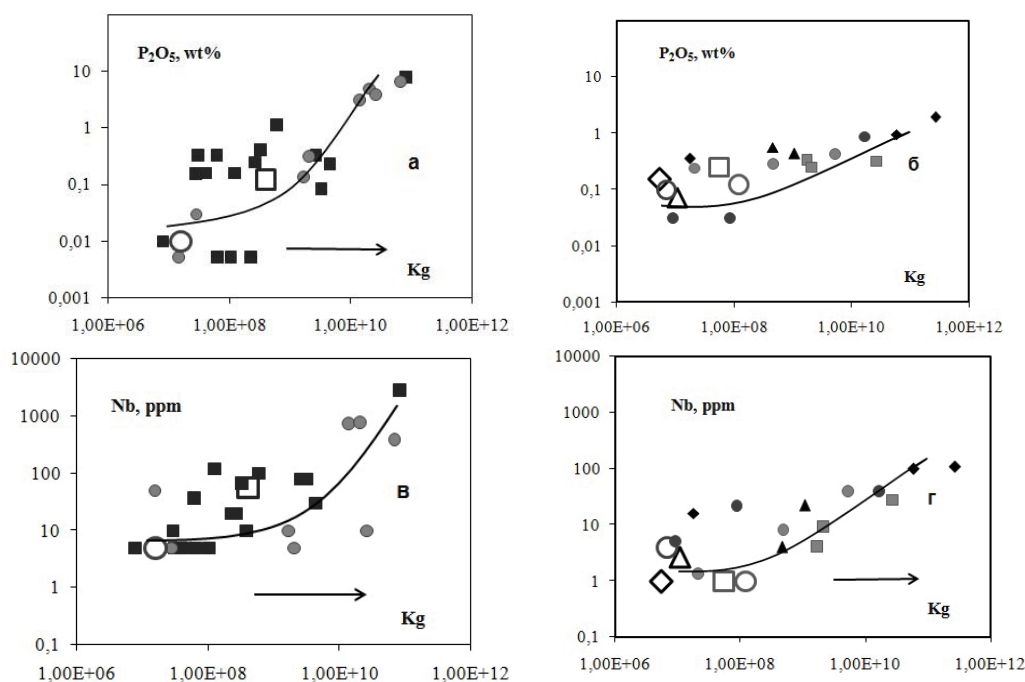


Рис. 3. Поведінка головних рудних компонентів  $P_2O_5$  і Nb залежно від геохімічного показника зональності для порід ПКМ (а, в) і ЧКМ (б, г)  
Умовні позначення див. на рис. 2. Стрілка вказує напрям фенітизації порід

### Висновки

Для ПКМ виділено два ряди метасоматитів (фенітів), які розвинені по первиннокарбонатних і первинносілікатних породах. Для цих рядів характерною є зміна мінеральних асоціацій (повне зникнення таких реліктових мінералів, як кварц, біотит і рогова обманка і поява новоутвореного парагенезису: лужні амфіболи, флогопіт, кальцит; підвищення вмісту апатиту і піротину, а також поява пірохлору і сфену), що принципово збігається з рядами, які виділяються для ЧКМ, хоч останні характеризуються менш контрастним набором вихідних порід-рам.

Установлено, що в обох випадках головним напрямком зміни контрастних типів вихідних (вмісних) порід у ході їхньої фенітизації є конвергентність їхніх мінеральних і хімічних композицій. Останнє підтверджується як для петрогенних, так і для мікроелементів.

За характером поведінки головних і мікроелементів у процесі фенітизації для кожного з масивів виділено три групи елементів, а саме: елементи привнесення, виносу та перерозподілу.

Подібність набору елементів груп привнесення обох масивів дозволила запропонувати єдиний мультиплікативний геохімічний показник зональності, який об'єктивно відображає зростання ступеня перетворення вмісних порід і значно розширює розміри пошукової мішені за межі, які дозволяють зафіксувати прямі петрографічні дослідження.

Одержані результати дозволяють вважати, що одним із перспективних напрямів подальших досліджень є дослідження найбільш розповсюджених мінералів-концентраторів рідкісних елементів із зональних фенітових ореолів обох масивів (перш за все апатиту). На думку авторів, це дозволить підтвердити процеси конвергенції композицій з нарощуванням ступеня фенітизації та підвищити ефективність прогнозно-пошукових критеріїв.

### Список використаних джерел

1. Багдасаров Ю. А. Особенности геологического положения и радиологический возраст нового проявления карбонатитов в районе КМА / Ю. А. Багдасаров, С. Н. Вороновский, Л. В. Овчинникова // ДАН СССР. – 1985. – 282, 2. – С. 404–408.

Bagdasarov Yu.A., Voronovskiy S.N., Ovchinnikova L.V., (1985). Geological position features and radiological age of the new carbonatites occurrence in the KMA Region. Reports of the USSR Academy of Sciences, 282, 2, 404–408. (In Russian)

2. Багдасаров Ю. А. Линейно-трещинные тела карбонатитов – новая субформация ультраосновных-щелочных карбонатитовых комплексов / Ю. А. Багдасаров // Докл. АН СССР. – 1979. – 248, 2. – С. 412–415.

Bagdasarov Yu.A., (1979). Linear-fractured carbonatite bodies – the new subformation of ultrabasic-alkaline carbonatite complexes. Reports of the USSR Academy of Sciences, 248, 2, 412–415. (In Russian)

3. Багдасаров Ю. А. О главных петро- и геохимических особенностях карбонатитов линейного типа и условиях их образования / Ю. А. Багдасаров // Геохимия. – 1990. – № 8. – С. 1108–1119.

Bagdasarov Yu.A., (1990). About the main geochemical features of linear type carbonatites and their formation conditions. Geochemistry, 8, 1108–1119. (In Russian)

4. Багдасаров Ю. А. О полиформационности карбонатитов и объёме термина "карбонатит" / Ю. А. Багдасаров // ЗВМО. – 1992. – № 2. – С. 110–116.

Bagdasarov Yu.A., (1992). About the carbonatites multiformal and the scope of the term "carbonatite". Notes of the Russian Mineralogical Society, 2, 110–116. (In Russian)

5. Верниковская А. Е. Неопротерозойское анорогенное магматическое событие на Енисейском кряже : новые геохимические и изотопно-геохронологические данные / А. Е. Верниковская, В. А. Верниковский, Е. Б. Сальникова и др. // Докл. РАН. – 2005. – 403, 5. – С. 656–660.

Vernikovskaya A.E., Vernikovskiy V.A., Salnikova E.B. et al., (2005). Neoproterozoic anorogenic magmatic event on the Yenisei Ridge: new geochemical and isotopic-geochronological data. Reports of the Russian Academy of Sciences, 403, 5, 656–660. (In Russian)

6. Вещественный состав и возраст пенчугинского линейного комплекса карбонатитов. Енисейский кряж / В. В. Врублевский, Б. Г. Покровский, Д. З. Журавлев, Г. Н. Аношин // Петрология. – 2003. – 11, 2. – С. 145–163.

Vrublevskiy V.V., Pokrovskiy B.G., Zhuravlev D.Z., Anoshin G.N., (2003). The composition and age of the Penchuga linear carbonatite complex, Yenisei Ridge. Petrology, 11, 2, 145–163. (In Russian)

7. Глевасский Е. Б. Докембрийский карбонатитовый комплекс Приазовья / Е. Б. Глевасский, С. Г. Кривдик. – К. : Наук. думка, 1981. – 227 с.

Glevasskiy E.B., Krivdik S.G., (1981). Precambrian carbonatite complex, Pre-Azov Region. Kiev, The scientific thought, 227 p. (In Russian)

8. Дунаев В. А. Геологическое строение и особенности генезиса Дубравинского массива щелочных пород и карбонатитов (КМА) / В. А. Дунаев // Изв. высш. учеб. заведений. Сер. Геология и разведка. – 2006. – № 5. – С. 30–33.

Dunaev V.A., (2006). Geological structure and genesis features of Dubravinka massif alkaline rocks and carbonatites (KMA). News of higher educational institutions. Geology and exploration, 5, 30–33. (In Russian)

9. Забродин В. Ю. Новый комплекс щелочных-основных пород и карбонатитов в Енисейском кряже / В. Ю. Забродин, А. А. Малышев // Докл. АН СССР. – 1975. – 223, 5. – С. 1223–1226.

Zabrodin V.Yu., Malyshev A.A., (1975). The new complex of alkaline-basic rocks and carbonatites in the Yenisei Ridge. Reports of the USSR Academy of Sciences, 223, 5, 1223-1226. (In Russian)

10. Кривдик С. Г. Петрология щелочных пород Украинского щита / С. Г. Кривдик, В. И. Ткачук. – К. : Наук. думка, 1990. – 408 с.

Krividik S.G., Tkachuk V.I., (1990). The petrology of Ukrainian Shield alkaline rocks. Kiev, The scientific thought, 408 p. (In Russian)

11. Лапин А. Карбонатиты зоны Татарского глубинного разлома на Енисейском кряже / А. В. Лапин, В. В. Плошко, А. А. Малышев // Геология рудных месторождений. – 1987. – № 1. – С. 30–45.

Lapin A.V., Ploshko V.V., Malyshev A.A., (1987). The carbonatites of the Tatarska deep-seated fault zone in the Yenisei Ridge. The geology of ore deposits, 1, 30-45. (In Russian)

12. Левин В. Я. Карбонатиты щелочной провинции Ильменских-Вишневых гор на Урале / В. Я. Левин, Б. М. Роненсон, И. А. Левина // Докл. АН СССР – 1978. – 240, 4. С. 930–933.

Levin V.Ya., Ronenson B.M., Levina I.A., (1978). Carbonatites of the alkaline province of Ilmenskie-Vishnevye mountains (Ural). Reports of the USSR Academy of Sciences, 240, 4, 930-933. (In Russian)

13. Недосекова И. Л. Карбонатиты Ильмено-Вишневогорского комплекса: геохимические и генетические особенности, роль силикатно-карбонатной несмешиваемости и флюидно-гидротермальных процессов в карбонатитообразовании / И. Л. Недосекова, С. В. Прибавкин // Ежегодник-2008. Тр. ИГГ УрО РАН. – 2009. – 156. – С. 166–175.

Nedosekova I.L., Pribavkin S.V., (2009). Carbonatites of Ilmeno-Vishnevogorskiy complex: geochemical and genetical features, the role of the silicate-carbonate immiscibility and fluid-hydrothermal processes in formation of carbonatites. Yearbook-2008. Proceedings of IGG of Ural Branch of Russian Academy of Sciences, 156, 166-175. (In Russian)

14. Самойлов В. С. Геохимия карбонатитов / В. С. Самойлов. – М. : Наука, 1984. – С. 193.

Samoylov V.S., (1984). The geochemistry of carbonatites. Moscow, The science, 193 p. (In Russian)

15. Собаченко В. Н. Rb – Sr возраст приразломных щелочных метасоматитов и гранитов Татарско-Пенчугинской зоны (Енисейский кряж) / В. Н. Собаченко, Г. С. Плюсин и др. // Докл. РАН. – 1986. – 287, 5. – С. 1220–1223.

Sobachenko V.N., Plyusin G.S. et al., (1986). The Rb – Sr age of near-fault alkaline metasomatic rocks and granites of the Tatarsko-Penchenginska zone (Yenisei Ridge). Reports of the Russian Academy of Sciences, 287, 5, 1220-1223. (In Russian)

16. Собаченко В. Н. Формационный тип приразломных щелочных карбонатно-силикатных метасоматитов и связанных с ними карбонатитов / В. Н. Собаченко, А. Г. Гундобин // Геология и геофизика. – 1993. – № 5. – С. 113–120.

Sobachenko V.N., Gundobin A.G., (1993). The formation type of near-fault alkaline carbonate-silicate metasomatic rocks and associated carbonatites. Geology and Geophysics, 5, 113-120. (In Russian)

17. Шнюков С. Е. Особенности процесса фенитизации Черниговского карбонатитового комплекса Западного Приазовья / С. Е. Шнюков // Геол. журн. – 1983. – 43, 4. – С. 52–61.

Shnyukov S.E., (1983). Fenitization process features of Chernigovka carbonatite complex of the West Pre-Azov Region. The geological journal, 43, 4, 52-61. (In Russian)

18. Шнюков С. Е. Десилицированные породы Черниговской зоны / С. Е. Шнюков, Р. Н. Щербина // Докл. АН УССР. Сер. Б. – 1984. – № 2. – С. 28–30.

Shnyukov S.E., Scherbina R.N., (1984). Desilicated rocks of the Chernigovska zone. Reports of the Ukrainian SSR Academy of Sciences, B series, 2, 28-30. (In Russian)

19. Шнюков С. Е. Апатиты, цирконы и сфены из околокарбонатитовых фенитов и щелочных метасоматитов зон диафтореза Украинского щита как петрогенетические и геохимические индикаторы : автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук / С. Е. Шнюков. – Львов, 1988. – 25 с.

Shnyukov S.E., (1988). Apatite, zircon and sphene from fenites associated with carbonatites, and alkaline metasomatic rocks of Ukrainian Shield diaphthoresis zones as petrogenetic and geochemical indicators. Ph.D. Thesis. Lviv, Ivan Franko State University, 25 p. (In Russian)

20. Шраменко И. Ф. Геохимия карбонатитов Украинского щита / И. Ф. Шраменко, В. А. Стадник, В. К. Осадчий. – К. : Наук. думка, 1992. – 214 с.

Shramenko I.F., Stadnik V.A., Ocadchii V.K., (1992). The geochemistry of Ukrainian Shield carbonatites. Kiev: The scientific thought, 214 p. (In Russian)

21. Щербак Н. П., Загнитко В. Н., Артеменко Г. В., Бартницкий Е. Н. Геохронология крупных геологических событий в Приазовском блоке УЩ // Геохимия и рудообразование. – 1995. – № 21. – С. 112–129.

Scherbak N.P., Zagnitko V.N., Artemenko G.V., Bartnitskiy E.N., (1995). Geochronology of large geological events in Priazovskiy block of USh. Geochemistry and Ore Formation, 21, 112-129. (In Russian)

22. Puustinen K. Geology of the Siilinjärvi carbonatite complex, Eastern Finland. Otaniemi // Bull. de la Commission Geologique de Finlande. – 1971. – 249. – 44 p.

23. Carbonatites, nepheline syenites, kimberlites and related rocks in British Columbia / by Jennifer Pell. – 1994. – Chapter 2–3.

24. Tribe N. L. Mineral Resource evaluation report on the Lonnie rare earth elements property. Manson Greek – Germanson landing area / N. L. Tribe, P. Eng // Northern B.C. Vancouver, BC Canada, 2011.

25. Peter Van Straaten Geological outline of Tanzania (carbonatites). Rocks for crops. Agrominerals of sub-Saharan Africa. – A, 2009. available at: [http://www.uoguelph.ca/~geology/rocks\\_for\\_crops/](http://www.uoguelph.ca/~geology/rocks_for_crops/)

**Надійшла до редколегії 14.10.14**

**S. Shnyukov, Dr. Sci. (Geol.), Assoc. Prof., Head of Department**

**E-mail: shnyukov@mail.univ.kiev.ua,**

**I. Lazareva, Cand. Sci. (Geol.), Assoc. Prof.**

**E-mail: lazareva@mail.univ.kiev.ua,**

**Yu. Nykanorova, Postgraduate Student, Engineer**

**E-mail: juliyasos@ukr.net,**

**V. Morozenko, Cand. Sci. (Geol.), Senior Researcher**

**E-mail: morozenko@mail.univ.kiev.ua**

**Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv**

**90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022 Ukraine**

## **FENITIZATION HALOS IN PENCHENGA AND CHERNIGOVKA CARBONATITE MASSIFS: SIMILARITIES AND DIFFERENCES**

*Mineralogical, petrographic and geochemical features of carbonatites and fenitization halos of two linear carbonatite massifs, Penchenga (Yenisei Ridge) and Chernigovka (Pre-Azov Region), have been investigated. The purpose of the research was to identify and compare regularities of mineral association changes and major and trace elements behavior during the fenitization halo evolution over different host rocks (silicate and carbonate). To achieve this goal, we carried out three principal components of the laboratory and analytical study: petrographic investigation in thin sections to determine the mineral composition as well as the textural and structural features of rocks; X-ray fluorescence analysis to identify major and trace elements; interpretation of the data obtained.*

*Our research produced the following results: (1) a similarity has been found in the direction of mineral association changes brought about by fenitization of different host rocks (silicate and carbonate) for both studied massifs (complete disappearance of such relict minerals as quartz, biotite and hornblende, and emergence of newly formed paragenesis: alkaline amphiboles, phlogopite, and calcite; an increase in apatite and pyrrhotite content, and the emergence of pyrochlore and titanite); (2) it has been found that in both cases, the main direction of changes in the contrast type host rocks caused by fenitization is the convergence of their mineral and chemical compositions; (3) according to their behavior during fenitization, the major and trace elements in each massif have been found to fall into three groups: lost, gained and redistributed; (4) the composition of these groups reflects a difference in the geochemical specialization of the massifs, which is also marked by the absence of nepheline rocks in the Penchenga massif in contrast to the Chernigovka massif; (5) similarities and differences in the Penchenga and Chernigovka carbonatite massifs have been revealed for the first time, and a common multiplicative geochemical zonation index has been constructed for both massifs to objectively show an increase in the level of contrast host rocks transformation. Using this index can enhance the efficiency of area selection and target evaluation.*

**Keywords:** carbonatite massifs, fenitization, Pre-Azov Region, Ukrainian Shield, Yenisei Ridge.

С. Шнюков, д-р геол. наук, доц., зав. каф.

E-mail: shnyukov@mail.univ.kiev.ua,

И. Лазарева, канд. геол. наук, доц.

E-mail: lazareva@mail.univ.kiev.ua,

Ю. Никанорова, асп., инж.

E-mail: juliyaasos@ukr.net,

В. Морозенко, канд. геол. наук, ст. науч. сотр.

E-mail: morozenko@mail.univ.kiev.ua

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,

УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина

### СХОДСТВО И РАЗЛИЧИЯ ОРЕОЛОВ ФЕНИТИЗАЦИИ ПЕНЧЕНГИНСКОГО И ЧЕРНИГОВСКОГО КАРБОНАТИТОВЫХ МАССИВОВ

Исследованы минералогическо-петрографические и геохимические особенности карбонатитов и ореолов фенитизации двух карбонатитовых массивов линейного структурно-морфологического типа: Пенченгинского (Енисейский край) и Черниговского (Приазовье). Цель работы заключалась в выявлении и дальнейшем сопоставлении закономерностей изменения минеральных ассоциаций и поведения петрогенных и микроэлементов в процессе развития ореола фенитизации по разнообразным исходным породам (силикатным и карбонатным). Для достижения цели проведены следующие виды работ: петрографические исследования в прозрачных шлифах с определением минерального состава и структурно-текстурных особенностей пород, рентгено-флюоресцентный анализ с определением главных петрогенных и микроэлементов, интерпретация полученных фактических данных.

В результате: (1) выявлено сходство направления изменения минеральных ассоциаций в процессе фенитизации исходных пород разного состава (силикатных и карбонатных) для обоих исследуемых массивов (полное исчезновение таких реликтовых минералов, как кварц, биотит и роговая обманка и появление новообразованного парагенезиса: щелочные амфиболы, флогопит, кальцит; повышение содержания апатита и пирротина, а также появление пирохлора и сфена); (2) установлено, что в обоих случаях главным направлением изменения контрастных типов исходных пород в ходе фенитизации является конвергентность их минеральных и химических композиций; (3) по характеру поведения главных и микроэлементов в процессе фенитизации для каждого из массивов выделены три группы элементов, а именно: элементы привноса, выноса и перераспределения; (4) состав соответствующих групп отображает некоторые различия в геохимической специализации массивов, которая подчеркивается и отсутствием нефелиновых пород в Пенченгинском массиве в отличие от Черниговского; (5) впервые выявлены общие черты и различия Пенченгинского и Черниговского карбонатитовых массивов и предложен единый для обоих массивов мультипликативный геохимический показатель зональности, объективно отображающий возрастания степени преобразования контрастных по составу вмещающих пород. Применение такого показателя способствует существенному увеличению размеров поисковой мишени за пределы, которые позволяют зафиксировать прямые петрографические исследования.

Ключевые слова: карбонатитовые массивы, фенитизация, Приазовье, Украинский щит, Енисейский край.

УДК 55(477)+551.22+552.3+550.4

А. Митрохин, д-р геол. наук, проф.

E-mail: mitrokhin.a.v@yandex.ua,

Е. Вишневская, асп.

E-mail: genyvishevskia@mail.ru

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,  
УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина

В. Гаценко, канд. геол. наук, науч. сотр.

E-mail: vera.gatsenko@ukr.net,

И. Михальченко, канд. геол. наук, докторант

E-mail: alcoldan@i.ua

Институт геохимии, минералогии и рудообразования М. П. Семененко

Национальной Академии наук Украины,

пр. Палладина, 34, г. Киев-142, Украина, 03680

### ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ И ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ПИКРИТОВ НОВОУКРАИНСКОГО ДАЙКОВОГО ПОЛЯ (ИНГУЛЬСКИЙ МЕГАБЛОК УКРАИНСКОГО ЩИТА)

(Рекомендовано членом редакционной коллегии д-ром геол.-минерал. наук, проф. В. М. Загнітком)

Авторами статьи изучены необычные дайковые породы ультраосновного состава, вскрытые глубокими буровыми скважинами в пределах Новоукраинского гранитоидного массива, расположенного на территории Ингульского мегаблока Украинского щита. Целью исследований было уточнение геологической позиции изученных дайковых пород, выяснение их петрографических особенностей и возможной металлогенической специализации. По результатам бурения установлено, что ультрабазиты слагают небольшие дайковые тела северо-западного простирания, интрузирующие в гранитоиды новоукраинского комплекса с U-Pb изотопным возрастом 2,04–2,00 млрд лет. Возраст самих ультрабазитовых даек достоверно не установлен. Совместно с более многочисленными дайками оливиновых долеритов и диабазов, ультрабазитовые дайки формируют Новоукраинское дайковое поле (НДП), локализованное в юго-западной части одноименного гранитоидного массива на северо-западном окончании Бобринецкого дайкового пояса. Керн скважин изучен с применением методов оптической и электронной микроскопии, электронно-зондового микроанализа, эмиссионно-спектрального анализа и "мокрой" химии. Выполненные исследования позволили отнести ультрабазитовые дайковые породы НДП к субщелочным пикритам, в разной мере измененным низкотемпературными постмагматическими процессами. Характерный для субщелочных магм реликтовый парагенезис мафических минералов (титан-салита и керсутита) указывает на первичный характер повышенной щелочности пикритов. Первичный характер имеет также высокая титанистость изученных пород, обусловленная повышенными содержаниями ильменита и титаномагнетита. Реликтовые микроструктурные особенности пикритов свидетельствуют о быстрой кристаллизации пересыщенного TiO<sub>2</sub> ультраосновного расплава в гипабиссальных или даже субвулканических условиях. Низкотемпературные постмагматические изменения в пикритах сопровождались полным замещением оливина и частичным клинопироксена за счет развития актинолита, биотита, хлорита, пирита и оксидов железа. Авторы делают вывод, что субщелочные пикриты НДП петрографически и геохимически обособлены от других дайковых образований Бобринецкого пояса, представленных преимущественно породами долерит-диабазовой формации, принадлежащими к толеитовой серии и характеризующимися нормальной щелочностью. Очевидно, что субщелочные пикриты относятся к иному формационному типу, требующему дальнейшего изучения в отношении геологического возраста, геотектонической позиции и петрогенезиса. Определенный интерес представляет также их своеобразная Ti-V-Ni металлогеническая специализация.

Ключевые слова: дайковые породы, субщелочные пикриты, Украинский щит.

**Постановка проблемы.** Необычные дайковые породы вскрыты глубокими буровыми скважинами экспе-

диции № 46 казённого предприятия "Кировгеология" в пределах сложного Новоукраинского гранитоидного

массива, расположенного на территории Ингульского мегаблока Украинского щита (УЩ). Уже предварительное петрографическое изучение первых образцов керна в шлифах показало, что это измененные низкотемпературными постмагматическими процессами ультрамафиты, характеризующиеся реликтовыми минеральными парагенезисами и микроструктурой гипабиссальных или даже субвулканических пород ультраосновного состава. Дальнейшие исследования обнаружили определенное своеобразие этих пород, проявляющееся при сравнении их с другими дайковыми образованиями региона. Учитывая общеизвестную редкость дайковых пород ультраосновного состава, их исключительную важность для изучения процессов мантийного петрогенезиса и магмогенерации, а также прогнозно-поисковое значение ультрабазитов в отношении целого ряда полезных ископаемых, авторами выполнено петрографическое изучение всего доступного керна материала по этим интересным породам.

**Анализ предыдущих исследований.** О наличии среди многочисленных дайковых образований Ингульского мегаблока (ИМБ) пород ультраосновного состава упоминается в целом ряде научных публикаций. Наибольшее внимание среди них, естественно, привлекали кимберлиты, условия залегания, минералогия, петрография и геохимия которых охарактеризованы в работах [2, 4, 7–9]. Что касается остальных ультрабазитов, именуемых пикритами [2], пикритовыми порфиритами [3] или же, не совсем удачно, – лампрофирами [1, 6, 10], большинство исследователей ограничивается лишь упоминанием об их присутствии среди дайковых пород ИМБ. Разрозненные и достаточно скудные данные об их петрографии и химизме, приводимые в публикациях [1–3, 5–6, 9–10], не дают представления об особенностях вещественного состава этих пород. Неполнота данных об особенностях локализации ультрабазитовых даек ИМБ и условиях их залегания, а зачастую и отсутствие элементарных географических привязок, которыми грешат многие научные публикации, не позволяют понять их взаимоотношения с окружающими докембрийскими образованиями.

*Целью данной статьи было уточнение геологической позиции ультраосновных дайковых пород, обнаруженных на площади Новоукраинского массива, выяснение их петрографических особенностей и возможной металлогенической специализации.*

**Фактический материал и методология исследований.** Авторами изучен кернаый материал по более чем сорока скважинам, вскрывшим дайковые породы основного и ультраосновного состава на площади Новоукраинского гранитоидного массива. Предварительное изучение керна в прозрачных шлифах позволило выделить среди отобранных образцов дайковые породы ультрамафического состава, т. е. более чем на 90 % сложенные темноцветными минералами. Среди них, в свою очередь, были выделены две разновидности: 1) ультрамафиты, наименее измененные постмагматическими процессами и сохранившие реликтовые минеральные парагенезисы, а также реликтовую микроструктуру магматических пород; 2) ультрамафиты, подвергшиеся значительным постмагматическим изменениям и практически утратившие первичный минеральный состав, но сохраняющие реликтовую микроструктуру. С целью уточнения минерального состава и выяснения особенностей химизма главных породообразующих минералов, наименее измененные разновидности ультрамафитов изучались в прозрачно-полированных шлифах на растровом электронном микроскопе-

микроматризаторе РЕММА-202, оснащенном энергодисперсионным рентгеновским спектрометром "Link systems". Все электронно-микроскопические исследования выполнены в лаборатории УНИ "Институт геологии" Киевского национального университета имени Тараса Шевченко. Химический состав обеих разновидностей ультрамафитов изучался в лаборатории Института геохимии, минералогии и рудообразования НАН Украины методами "мокрой" химии и эмиссионно-спектрального анализа. Полученные результаты окончательно подтвердили принадлежность изученных образцов к ультраосновным породам, обнаружив определенное своеобразие их химизма.

**Результаты исследований.** Ультрамафиты выявлены в кернах скважин 5642, 5691, 5709, 5714, 5930, 5973, 6041, 6046, 6047, 6049, 6056, 6073, 6127, пробуренных в районе с. Сотницкая Балка и Каменный Мост Новоукраинского района Кировоградской области. По данным буровых работ установлено, что они слагают маломощные крутозалегающие дайковые тела северо-западного простирания, интродуцированные в гранитоиды новоукраинского комплекса (PR<sub>1nu</sub>). Зафиксированы также отдельные субгоризонтальные дайки. Совместно с более многочисленными дайками оливиновых долеритов и диабазов ультрамафические дайки формируют Новоукраинское дайковое поле (НДП), локализованное в юго-западной части одноименного сложного гранитоидного массива на северо-западном окончании Бобринецкого дайкового пояса. Бобринецкий дайковый пояс (БДП) простирается в северо-западном направлении на расстояние более 100 км вдоль линии населенных пунктов Новый Буг – Бобринец – Новоукраинка – Глодосы, расположенных на территории Николаевской и Кировоградской областей. В геологическом отношении – это южная часть ИМБ. Мощности отдельных даек изменяются от десятков сантиметров до 25–30 м. Наиболее мощные дайки фиксируются в магнитном поле контрастными линейными аномалиями северо-западного простирания (единичные – северо-восточного), прослеживаемыми от Приингульского синклинория через Бобринецкий и Новоукраинский гранитоидные массивы до субмеридиональной Звенигородско-Анновской зоны разломов. Распространение и ориентация даек контролируются Долинским и Центральным глубинными разломами. В распределении даек наблюдается неоднородность: на отдельных участках Бобринецкого пояса они концентрируются в дайковые поля, наиболее крупным среди которых является Новоукраинское. В обнажениях изредка встречаются лишь дайки основного состава. Ультрамафические дайки на дневной поверхности не обнажаются. По данным бурения, вмещающими породами для них являются гнейсы чечелевской свиты ингуло-ингулецкой серии (PR<sub>1ii</sub>), а также гранитоиды кировоградского (PR<sub>1kg</sub>) и новоукраинского комплексов (PR<sub>1nu</sub>). Нижняя возрастная граница формирования даек БДП определяется по пересечению ими гранитоидов новоукраинского комплекса (PR<sub>1nu</sub>), датированных U-Pb изотопным методом в 2,04–2,00 млрд лет. В полях ураносных щелочных натриевых метасоматитов (PR<sub>1mt</sub>), датированных в 1,80 млрд лет, зафиксированы многочисленные случаи образования аподиабазовых метасоматитов по исходным базитовым дайкам.

Выполненные исследования позволили отнести ультрамафические дайки НДП к субщелочным пикритами, в разной мере измененным низкотемпературными постмагматическими процессами. Это темные зеленовато-серые мелкозернистые породы массивного сло-

жения, внешне напоминающие диабазы. Однако в отличие от последних, они имеют ультрамафический состав. В лупу видно, что основную массу составляет агрегат удлиненно-призматических или игольчатых кристаллов зеленоватого амфибола, размером от 0,1–0,5 мм до 1–1,5 мм. На их фоне, в наименее измененных образцах, также различимы короткостолбчатые зерна темно-коричневого пироксена, размером 0,2–1,5 мм. Спорадически присутствуют мелкие вкрапления сульфидов.

Микроскопическими исследованиями установлено, что, несмотря на значительные постмагматические преобразования пикритов, в отдельных шлифах сохраняются реликтовые микропорфировые и микролитовые структуры. Первично-магматический минеральный парагенезис представлен: клинопироксеном, керсутитом, ильменитом и титаномagnetитом. Реликтовый оливин не обнаружен, однако присутствуют вероятные псевдоморфозы по нему. Новообразованными метаморфическими минералами являются: амфиболы, биотит, хлорит, альбит, сфен, пирит и оксиды железа. Микрозондовым анализом выявлены акцессорные концентрации пирротина, халькопирита, пентландита, циркона, бадделейта и монацита.

Клинопироксен присутствует лишь в наименее измененных разновидностях пикритов скважин 5709, 6041, 6047 и 6127. Содержание его незначительно – визуально 10–15 %. В проходящем свете он имеет характерную розовато-коричневую окраску. Кристаллизуется в виде идиоморфных столбчатых фенокристов, размером 0,7–1,5 мм, а также менее правильных фрагментированных зерен, размером 0,2–0,5 мм. И первые, и вторые частично замещаются амфиболами. Микрозондовым анализом установлено, что клинопироксен характеризуется достаточно выдержанным составом – это салит  $Wo_{46-48}En_{36-40}Fs_{14-17}$ . Несколько необычными, как для салита, являются высокие содержания  $TiO_2$  (2–5 %) и  $Al_2O_3$  (5–7 %) с максимальными значениями в центральной части зерен и минимальными – по периферии. Отметим, что высокая титанистость клинопироксенов является индикаторным признаком магматических пород повышенной щелочности. На субщелочной состав изучаемых пикритов также указывает присутствие в них керсутита.

Керсутит обнаружен в количестве менее 1 % в образце пикрита скважины 6127. В шлифе он окрашен и плеохроирует в обычных для этого амфибола коричневых тонах. Керсутит кристаллизуется в виде удлиненно-призматических индивидов размером до 0,3–0,4 мм, а также формирует монокристаллические оболочки вокруг клинопироксена. Местами индивиды керсутита окружены венцовыми оболочками амфиболов актинолитового ряда. Присутствуют кристаллы с обильными пылевидными рудными включениями.

Ильменит заметно преобладает среди рудных минералов. Во многих образцах его содержание достигает 10 % и выше. Однако микроскопические размеры зерен, 0,1–0,4 мм, несколько снижают промышленную ценность этого минерала. Причудливая скелетная форма кристаллов ильменита, очевидно, указывает на быструю кристаллизацию, обусловленную явлениями переохлаждения расплава, столь свойственными магматическим образованиям эффузивной и субвулканической фаций. Причем именно эта своеобразная "микролитовая" морфология ильменита позволяет идентифицировать субвулканические дайковые породы даже в наиболее измененных образцах. Микрозондовым анализом установлен следующий состав ильменита в изученных пикритах:  $Ilm_{80-89}Hem_{7-15}Pu_{3-4}$ . Их характер-

ной особенностью является высокое содержание гематитового минала и низкое – гейклитового (< 1 %).

Титаномagnetит – второй по распространенности рудный минерал пикритов. Он образует идиоморфные, а также скелетные, кристаллы размером 0,1–0,2 мм. Для них характерно относительно однородное внутреннее строение без видимых структур распада. При этом химический состав изученных титаномagnetитов характеризуется достаточно высоким содержанием ульвошинелевого минала (25–58 %). Кроме титаномagnetита, также выявлен хром-железистый шпинелид, требующий дальнейшего изучения.

Доминирующими новообразованными минералами в пикритах являются лучистые амфиболы, представленные актинолитом и актинолитовой роговой обманкой. Они формируют нематобластовую основную ткань породы, а также частично замещают первичные пироксены. Актинолит более распространен. В проходящем свете он бесцветный или бледно-зеленый. Во многих местах видно, что спутано-волокнистые агрегаты актинолита, вероятно, являются псевдоморфозами по оливину, сохраняющими идиоморфную короткостолбчатую форму его зерен. Микроскопическая вкрапленность оксидов и сульфидов железа, неоднородно насыщающая эти апооливиновые псевдоморфозы, придает им характерную петельчатую микроструктуру. Кроме актинолита, в основной ткани встречаются индивидуальные длиннопризматические кристаллы, а также спутано-волокнистые агрегаты роговой обманки. От актинолита она отличается более интенсивной буровато-зеленой окраской, а также присутствием примеси  $Al_2O_3$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$  и  $TiO_2$  в микрозондовых анализах.

Биотит обычно ассоциирует с амфиболами и альбитом, а также может выполнять микротрещины в пироксене. Местами биотит сам замещается гидрослюдой и хлоритом. Альбит наблюдается в породе в ограниченном количестве. Его спорадические ксеноморфные зерна насыщены обильными микровключениями амфиболов, биотита, сфена, рудных минералов.

Валовый химический состав пикритов отвечает ультраосновным породам с содержанием кремнезема 39–41 % (табл. 1). Они характеризуются необычно высокой щелочностью (3–4,8 %) при заметном преобладании  $K_2O$  над  $Na_2O$ . Однако, не исключено, что первичное соотношение  $SiO_2/(K_2O + Na_2O)$  искажено постмагматическими изменениями, фиксируемыми в высоких значениях потерь при прокаливании (3–4 %), а также в высокой степени окисленности железа. В этой связи обращает внимание повышенное содержание глинозема (6–8 %), не характерное для нормальных пикритов, но обычное в их субщелочных разновидностях. Состав мафических минералов отражается в умеренной магнезиальности изучаемых пород. При этом содержания  $MgO$  (16–17 %) сопоставимы с суммарным содержанием  $FeO$  и  $Fe_2O_3$ , но заметно превышают  $CaO$ . Концентрации  $TiO_2$  (5–6 %) подтверждают повышенное содержание ильменита, отвечающее бедным вкрапленным рудам. Наряду с этим, высокая титанистость изученных пород косвенно указывает на их принадлежность к субщелочной серии. Спектральным анализом также зафиксированы повышенные концентрации  $V$  и  $Ni$  по сравнению со средними содержаниями в ультраосновных породах.

В заключение отметим принципиальную важность отнесения изученных ультрабазитовых даек к субщелочной серии, устанавливаемое по петрографическим и геохимическим данным. Именно принадлежностью к субщелочной серии пикритовые дайки коренным образом отличаются от даек оливиновых долеритов и диаба-

зов, широко распространенных в пределах Бобринецкого дайкового пояса. Так, по данным авторов [5], базитовые дайки Новоукраинского дайкового поля представлены преимущественно породами долерит-диабазовой формации, принадлежащими к толеитовой серии с нормальной щелочностью. Очевидно, что субщелочные пикриты относятся к иному формационному типу.

Таблица 1

Химический состав пикритов  
Новоукраинского дайкового поля

|                                |         |         |        |
|--------------------------------|---------|---------|--------|
| Скважина                       | 6046    | 6049    | 6127   |
| Глубина, м                     | 349-363 | 412-421 | 67-75  |
| SiO <sub>2</sub>               | 38,79   | 40,14   | 40,56  |
| TiO <sub>2</sub>               | 4,96    | 6,04    | 6,24   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 8,45    | 6,38    | 7,47   |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 13,03   | 9,88    | 4,22   |
| FeO                            | 3,72    | 5,43    | 12,08  |
| MnO                            | 0,2     | 0,19    | 0,21   |
| MgO                            | 15,42   | 16,95   | 15,7   |
| CaO                            | 6,2     | 5,56    | 6,41   |
| Na <sub>2</sub> O              | 0,6     | 0,6     | 0,83   |
| K <sub>2</sub> O               | 2,4     | 4,2     | 2,41   |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,2     | 0,24    | 0,21   |
| S                              | 0,02    | 0,02    | 0,26   |
| H <sub>2</sub> O-              | 1,76    | 1,19    | 0,72   |
| ППП                            | 4,14    | 2,92    | 3,11   |
| Сумма                          | 99,89   | 99,74   | 100,43 |

**Выводы.** Полученные результаты позволяют сделать целый ряд выводов относительно геологической позиции, особенностей вещественного состава и возможного практического значения изученных ультраосновных даек, а также наметить направления дальнейших исследований.

1. Ультрамафические дайковые породы, выявленные в пределах Новоукраинского гранитоидного плутона, относятся к субщелочным пикритам, в разной мере измененным низкотемпературными постмагматическими процессами.

2. Субщелочные пикриты слагают небольшие дайковые тела северо-западного простирания, которые совместно с более многочисленными дайками оливиновых долеритов и диабазов формируют Новоукраинское дайковое поле (НДП), локализованное вблизи западного фланга одноименного гранитоидного плутона на северо-западном окончании Бобринецкого дайкового пояса.

3. Нижняя возрастная граница формирования пикритовых даек определяется по пересечению ими гранитоидов новоукраинского комплекса, датированных U-Pb изотопным методом в 2,04–2,00 млрд лет. Верхняя возрастная граница не установлена ввиду отсутствия прецизионных данных изотопного датирования.

4. Характерный для субщелочных магм реликтовый парагенезис мафических минералов (титан-салита и керсутита) указывает на первичный характер повышенной щелочности пикритов. Первичный характер имеет также высокая титанистость изученных пород, обусловленная повышенными содержаниями ильменита и титаномagnetита. Реликтовые микроструктурные особенности пикритов свидетельствуют о быстрой кристаллизации ультраосновного расплава пересыщенного TiO<sub>2</sub> в гипабиссальных или даже субвулканических условиях.

5. Изученные дайки субщелочных пикритов петрографически и геохимически обособлены от других дайковых образований Бобринецкого дайкового пояса, представленных преимущественно нормально-щелочными породами долерит-диабазовой формации, относящимися к толеитовой серии. Очевидно, что субщелочные пикриты относятся к иному формационному типу, требующему дальнейшего изучения в отношении геологического возраста, геотектонической позиции и петрогенезиса. Определенный практический интерес также может представлять своеобразная Ti-V-Ni металлогеническая специализация изученных даек субщелочных пикритов.

#### Перечень использованных источников

1. Бугаенко В. Н. Каталог химических анализов платформенных дайковых и вулканогенных пород Украины / В. Н. Бугаенко, Л. Г. Бернадская, Н. В. Бутурлинов. – К.: Наук. думка, 1988. – 156 с.
2. Bugayenko V.N., Bernadskaya L.G., Buturlinov N.B., (1988). Catalogue of chemical analysis for platform dyke and volcanic rocks of Ukrain. Kiev, Naukova Dumka, 156 p.
3. Гейко Ю. В. Перспективы коренной алмазоносности Украины / Ю. В. Гейко, Д. С. Гурский, Л. И. Лыков, В. С. Металиди. – К.; Л.: Центр Европы, 2006. – 200 с.
4. Geyko U.V., Gursky D.S., Lykov L.I., Metalidy V.S., (2006). Native diamond prospect of Ukrain. Kiev-Lvov, Centr Europe, 200 p.
5. Гречишников Н. П. О возрасте дайковых пород Субботско-Мошоринской зоны разломов / Н. П. Гречишников, Е. П. Коржнева, О. А. Крамар, Д. Н. Щербак // Геол. журн. – 1980. – № 5. – С. 139–143.
6. Grechynshnikov N.P., Korjнева E.P., Kramar O.A., Sherbak D.H., (1980). About an age of dyke rocks from Subotcy-Moshorino fault zone. Geol. Journal, 5, 139-143.
7. Кирьянов Н. Н. Кимберлиты Кировоградского геоблока Украинского щита / Н. Н. Кирьянов, В. Ю. Чернов, О. Ф. Макивчук // Геология і стратиграфія докембрію Українського щита : тез. доп. Всеукр. міжвід. наради. – К, 1988. – С. 96–98.
8. Kirianov N.N., Chernow., Makiuchuk O.F., (1988). Kimberlites from Kirovograd geoblock of Ukrainian Shield. Geology and Stratigraphy of Precambrian of Ukrainian Shield: Theses of reports from General Ukrainian Interdepartmental Conference, Kiev, 96-98.
9. Митрохин А. В. Долерит-диабазовая (трапповая) формация Ингульско-го мегаблока Украинского щита / А. В. Митрохин, Е. А. Вишневская, Л. В. Шумлянский // Геохронология та геодинаміка раннього докембрію Євразійського континенту : зб. тез наук. конф., присвяченої 90-річчю акад. НАН України М. П. Щербака. – К.: ЦП "Компринт". – 2014. – С. 82–83.
10. Mitrokhin A.V., Vishnevskaya E.A., Shumlyansky L.V., (2014). Dolerite-diorite rock association from Ingul Megablock of Ukrainian Shield / Geochronology and geodynamic of early Precambrian of Eurasian continent: collection theses from Science Conference devoted to 90-anniversary from birthday of academian M.P. Sherbak. Kiev: Komprint, 82-83.
11. Савченко Н. А. Дайковые породы Украинского щита / Н. А. Савченко, Л. Г. Бернадская, Н. В. Бутурлинов // Палеовулканизм Украины. – К.: Наук. думка, 1984. – С. 17–91.
12. Savchenko N.A., Bernadskaya L.G., Buturlinov N.B., (1984) Dyke rocks of Ukrainian Shield. Paleovolcanism of Ukraine, Kiev, Naukova Dumka, 17-91.
13. Цымбал С. Н. Вещественный состав кимберлитов Кировоградского блока (Украинский щит) / С. Н. Цымбал, С. Г. Кривдик, Н. Н. Кирьянов, О. Ф. Макивчук // Минерал. журн. – 1999. – Вып. 21, № 2–3. – С. 22–38.
14. Cymbal S.N., Krivdic S.G., Kirianov N.N., Makiuchuk O.F., (1999). Composition of kimberlites from Kirovograd Block (Ukrainian Shield). Mineral. Journal, 21, 2-3, 22-38.
15. Цымбал С. Н. Ксенолиты глубинных пород из кимберлитов Кировоградского блока (Украинский щит) / С. Н. Цымбал, С. Г. Кривдик // Минерал. журн. – 1999. – Вып. 21, № 2–3. – С. 97–111.
16. Cymbal S.N., Krivdic S.G., (1999). Xenolithes of deep rocks from kimberlites of Kirovograd Block (Ukrainian Shield). Mineral. Journal, 21, 2-3, 91-111.
17. Щербак И. Б. Петрология Украинского щита / И. Б. Щербак. – Л.: ЗУКЦ, 2005. – 366 с.
18. Sherbakov I.B., (2005). Petrology of Ukrainian Shield. Lvov: ZUKC, 366 p.
19. Bogdanova S. V. Late Palaeoproterozoic mafic dyking in the Ukrainian Shield of Volgo-Sarmatia caused by rotation during the assembly of supercontinent Columbia (Nuna) / Bogdanova S. V., Gintov O. B., Kurlovich D. M., Lubnina N. V. // Lithos. – 2013. – P. 1–21.

Надійшла до редколегії 04.09.14

A. Mitrokhin, Dr. Sci (Geol.), Prof.  
E-mail: mitrokhin.a.v@yandex.ua,  
E. Vishnevskia, Postgraduate Student  
E-mail: genyivishnevskia@mail.ru,  
Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv  
90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022 Ukraine  
V. Gatsenko, Cand. Sci. (Geol.), Research Associate  
E-mail: Vera.gatsenko@ukr.net,  
I. Mihalchenko, Cand. Sci. (Geol.), Doctoral Candidate  
E-mail: alcoldan@i.ua  
Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation, NAS of Ukraine,  
34, Acad. Palladina Ave., Kyiv - 142, 03680, Ukraine

#### GEOLOGICAL POSITION AND COMPOSITION OF PICRITES FROM THE NOVOUKRAINKA DYKE FIELD (INGUL MEGABLOCK OF THE UKRAINIAN SHIELD)

*A study has been conducted into the uncommon dyke rocks with ultrabasic composition which were opened with deep boreholes within the Novoukrainka Granite Massif located in the Ingul megablock of the Ukrainian Shield. The research was aimed at specifying the geological position of the studied dyke rocks, as well as clarifying their petrographic features and the presumptive metallogenic specialization. The results of drilling showed that ultrabasites form small dyke bodies of northwesterly extension intruding in the Novoukrainka complex granitoids of 2040-2000 Ma U-Pb isotope age. The isotope age of the ultrabasic dykes has not been precisely determined. Together with the more numerous olivine dolerite and diabase dykes, the ultrabasic dykes form the Novoukrainka Dyke Field (NDF) flanking the southwest Novoukrainka granitoid massif on the northwestern border of the Bobrinets dyke belt. Cores from the wells were studied using optical and electronic microscopy, electron probe microanalysis, emission spectral analysis and "wet" chemistry. The results suggest that the NDP ultrabasic dyke rocks can be referred to subalkaline picrites altered to a certain extent by low-temperature post-magmatism. The relic paragenesis of mafic minerals characteristic of subalkaline magmas (Ti-salite and kaersutite) can be associated with primary hyperalkalinity of the picrites. High TiO<sub>2</sub> in the studied rocks caused by high concentrations of ilmenite and Ti-magnetite is also primary in origin. Relic microtexture features of the picrites testify to fast crystallization of the Ti-oversaturated ultrabasic melt that took place in hypabyssal or even subvolcanic conditions. Low-temperature post-magmatic changes in the picrites were followed by full replacement of olivine and partial replacement of monoclinic pyroxene due to the development of actinolite, biotite, chlorite, pyrites and iron oxides. It has been shown that subalkaline picrites of the NDP are petrographically and geochemically distinct from other dyke rocks of the Bobrinets belt presented by a low-alkaline dolerite-diabase association belonging to the tholeiitic series. As is evident, subalkaline picrites refer to a different rock association, which requires further research into their geologic age, geotectonic position and petrogenesis, their peculiar Ti-V-Ni metallogenic specialization being of scientific interest as well.*

**Keywords:** dyke rocks, subalkaline picrites, Ukrainian Shield.

О. Митрохин, д-р геол. наук, проф.  
E-mail: mitrokhin.a.v@yandex.ua,  
Є. Вишневська, асп.  
E-mail: genyivishnevskia@mail.ru  
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,  
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна  
В. Гаценко, канд. геол. наук, наук. співроб.  
E-mail: Vera.gatsenko@ukr.net,  
І. Михальченко, канд. геол. наук, докторант  
E-mail: alcoldan@i.ua  
Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М. П.Семененка  
Національної Академії наук України,  
пр. Палладіна, 34, м. Київ-142, 03680, Україна

#### ГЕОЛОГІЧНА ПОЗИЦІЯ ТА РЕЧОВИННИЙ СКЛАД ПІКРИТІВ НОВОУКРАЇНСЬКОГО ДАЙКОВОГО ПОЛЯ (ІНГУЛЬСЬКИЙ МЕГАБЛОК УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА)

*Авторами статті вивчено незвичайні дайкові породи ультраосновного складу, які були розкриті глибокими буровими свердловинами в межах Новоукраїнського гранітоїдного масиву, розташованого на території Інгульського мегаблоку Українського щита. Метою досліджень було уточнення геологічної позиції вивчених дайкових порід, з'ясування їхніх петрографічних особливостей та можливої металогенічної спеціалізації. За результатами буріння встановлено, що ультрабазити становлять невеликі дайкові тіла північно-західного простягання, які інтродують у гранітоїди новоукраїнського комплексу з U-Pb ізотопним віком 2,04–2,00 млрд р. Вік самих ультрабазитових дайок достовірно не з'ясований. Сумісно з численними дайками олівінових долеритів і діабазів ультрабазитові дайки формують Новоукраїнське дайкове поле (НДП), яке локалізовано в південно-західній частині однойменного гранітоїдного плутону на північно-західному закінченні Бобринецького дайкового поясу. Керн свердловин був вивчений із застосуванням методів оптичної та електронної мікроскопії, електронно-зондового мікроаналізу, емісійно-спектрального аналізу та "мокрої" хімії. Виконані дослідження дозволили віднести ультрабазитові дайкові породи НДП до сублужних пікритів, різною мірою змінених низькотемпературними постмагматичними процесами. Характерний для сублужних магм реліктовий парагенезис мафічних мінералів (титан-саліту та керсутиту) указує на первинний характер підвищеної лужності пікритів. Первинний характер має також висока титаністість вивчених порід, яка обумовлена підвищенням вмісту ільменіту та титаномagnetиту. Реліктові мікроструктурні особливості пікритів свідчать про швидку кристалізацію пересиченого TiO<sub>2</sub> ультраосновного розплаву в гіпабісальних або навіть субвулканічних умовах. Низькотемпературні постмагматичні зміни в пікритях супроводжувалися повним заміщенням олівіну та частковим клінопіроксену за рахунок розвитку актиноліту, біотиту, хлориту, піриту та оксидів заліза. Автори роблять висновок, що сублужні пікрити НДП є петрографічно та геохімічно відокремленими від інших дайкових утворень Бобринецького поясу, представлених переважно породами долерит-діабазової формації, що належить до толейтової серії, і характеризуються нормальною лужністю. Вочевидь, сублужні пікрити належать до іншого формаційного типу, який потребує подальшого вивчення відносно його геологічного віку, геотектонічної позиції та петрогенезису. Певний інтерес викликає також їхня своєрідна Ti-V-Ni металогенічна спеціалізація.*

**Ключові слова:** дайкові породи, сублужні пікрити, Український щит.

## ГЕОФІЗИКА

УДК 550.83:552.1:537

S. Vyzhva, Doctor of Sciences (Geology), Professor  
vsa@univ.kiev.ua,D. Onyshchuk, PhD in Geology, engineer  
boenerges@ukr.net,V. Onyshchuk, PhD in Geology, Assistant  
vitus16@ukr.netT. Pastushenko, PhD, Associate Professor  
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology,  
90 Vasyukivska Str., Kyiv

## ELECTRICAL PROPERTIES OF CAMBRIAN ROCKS IN VOLYNO-PODILLIA

(Рекомендовано членом редакційної колегії канд. геол. наук, старш. наук. співроб. І. М. Безродною)

*In this article, we present the results of applying a petroelectrical research technique to complex terrigenous and carbonate reservoirs. There have been determined the petroelectrical properties and their relation to porosity and permeability of sandstones, dolomites and limestones (Cambrian deposits) from the Volodymyrska area, Volyno-Podillia. The aim of the research was to build petroelectrical models of reservoir rocks to ensure a comprehensive analysis of electrical parameters of rocks and their correlation with porosity and permeability. Determining effective resistivity of reservoir rocks can provide data on: changes in different types and groups of rocks, stratigraphic horizons, facies and geological sections; correlations between effective resistivity and mineral composition, pore structure, substance phase ratio, electric field intensity and frequency; resistance variations due to epigenetic transformation and metamorphic changes in rocks.*

*Petrophysical laboratory studies included determining: bulk density of rocks (both dry and saturated with synthetic brine); effective porosity (obtained by nitration and synthetic brine saturation); residual water saturation factor (by centrifugation); permeability (by stationary nitrogen filtration method); interval time (P-wave velocity) and electrical resistivity. Laboratory research yielded data on the petroelectrical parameters of Cambrian sandstones, dolomites and limestones from the hydrocarbon prospective Volodymyrska area, as well as empirical correlations between petroelectrical parameters, porosity and permeability of the studied rocks.*

*It has been found that the electrical resistivity of the dry extracted samples (mainly determined by electrical resistance of the rock matrix) ranges from 5,2-104 Ohms m (sandstones) to 2,4-107 (dolomites), with an average value of 3,8-106. The electrical resistivity of synthetic brine saturated rock samples (NaCl solution) ranges from 7,2 Ohms m (sandstones) to 73 (limestones), with an average value of 45. The formation resistivity factor ranges from 20,4 to 85,5, with an average value of 44,1 (sandstones); from 143,9 to 207,6, with an average value of 188,6 (limestones); from 81,7 to 198,7, with an average value of 155,6 (dolomites). The variation range of the resistance increase is: from 1 to 3,24, with an average value of 1,24 (sandstones); from 1 to 7,19, with an average value of 2,24 (limestones); from 1 to 2,76, with an average value of 1,44 (dolomites). Sandstones are characterized by changes in resistance from 1 to 2,12, with an increase in pressure from atmospheric to hydrostatic (to 59 MPa), while for limestones the resistivity index ranges from 1 to 7,7, with pressure ranging between 0-49 MPa.*

*There have been found correlations between electrical resistivity and porosity ratio, as well as resistance increase and the water saturation ratio in the laboratory and reservoir conditions, which may be used as a framework for geological interpretation of geophysical data. These correlation dependences are generally approximated by the power function. Data analysis shows that petroelectrometric studies are a powerful tool in laboratory and field research, being efficient enough to give extensive and useful information about rock properties. Laboratory data on electrical resistance of rocks may be employed to further reinforce the interpretation of the results of electrometric well logging and electric exploration.*

**Key words:** core, water saturation, fluid, borehole, Cambrian, sandstone, limestone, dolomite, centrifuge, porosity, electrical resistivity, pressure, permeability, petroelectrical parameters, correlation dependence.

**Introduction.** The intricate correlation between porosity, permeability and logging and field geophysical data requires a thorough analysis based on petrophysical laboratory studies. A crucial factor in determining the geoelectrical properties of rocks is electrical resistivity ( $\rho$ ), which is determined by rock composition and texture, capacity space structure, oil- gas- and water saturation of rocks, porosity factor, reservoir water salinity, temperature and pressure [1–8].

Our main purpose was to develop a petroelectrical model of reservoir rocks so as to provide the basis for a comprehensive analysis of their electrical parameters and their relation to porosity and permeability. Determining reservoir rock resistivity is essential to clarifying its variation range for certain types and groups of rocks, determining individual stratigraphic horizons, sections and facies; revealing the correlation between resistivity and a number of attributes, such as mineral composition, pore space structure, the phase relation of matter, frequency and tension of the electric field, as well as identifying the nature of changes in electrical resistivity under epigenetic transformations and metamorphic changes in rocks.

Laboratory data on resistivity variation in rocks are used in electrical logging interpretation and electrical exploration.

This paper presents the results of petroelectrical laboratory analysis of Cambrian sandstones, limestones and dolomites from the hydrocarbon prospective Volodymyrska area

(Volodymyrska-1 and Volodymyrska-2 wells, the interval 1,190–2,520 m). The area is located in the northern part of the eastern side of the Lviv Paleozoic rock bend in Volyno-Podillia edge of the East-European platform.

**Experiment.** A series of laboratory experiments involved identifying the density of the rocks under study (dry and saturated with synthetic brine), open porosity (method of nitrogen saturation and method of synthetic brine saturation), residual water saturation factor (by centrifugation), permeability (nitrogen filtration method), interval time (velocity of P-waves) and resistivity. In the laboratory experiments, we determined electrical resistivity of rock samples under various conditions (dry, partially and completely saturated with reservoir synthetic brine) under atmospheric conditions and under those similar to in-situ conditions.

Laboratory electrometric measurements of dry core samples were performed at a temperature of 20° C with a digital teraohmmeter C.A. 6547, which ensures high-precision measurement of electrical resistivity in the range of 10 kOhms to 10 TOhms, using a DC two-electrode scheme, with computerized digital recording [3–7]. For NaCl ( $M = 30$  g/l) saturated samples, RCL-meter MHC-1100 was used. Cylindrical samples to be tested were placed in a special core holder with nonpolarized electrodes, which are specially made from graphitized rubber. In order to determine the correlation between the petrophysical parameters and the water saturation levels

(and hence oil and gas saturation) of rocks, we studied the changes in resistivity while stripping water on centrifuge OC-6M.

Petroelectrical analysis involved repeated measuring of electrical resistivity in core samples saturated with synthetic brine. Measurements were performed before and after centrifugation in stripping modes from 1,000 to 6,000 rev/min with a measurement interval of 1,000 rev/min, water displacement pressure ranging from 0,2 to 1,0 MPa (7 measurement cycles). Simultaneously, water saturation factor and velocity of elastic waves were being determined. The mean relative error of electrical resistance was estimated to be 2,4%.

Data analysis. Petrophysical laboratory research yielded data on porosity, permeability and electric properties of the major types of rocks, as shown in Table 1.

The laboratory measurements have shown that resistivity values measured on dry extracted samples (electrical resistivity of the rock matrix) range from 51,610 (sandstone) to 24,441,890 Ohms·m (dolomites), with an average of 3,827,440 Ohms·m. Major variations in the resistivity values of the samples are due to inhomogeneities in the texture of rocks (the presence of clay and sandy layers) and their disarray. Specific electrical resistivity of rock samples saturated with synthetic brine (NaCl solution) ranges from 7,2 (sandstones) to 73 Ohms·m (limestones) with an average value of 45 ohms·m.

Table 1

Results of measuring petrophysical properties of limestones, dolomites and sandstones

| Index | Rock       | Age | Parameter Value | Density, kg/m <sup>3</sup> |                | Open porosity, % |                | Permeability, femtom2 | Residual Water Saturation Factor | Resistivity, Ohms·m |                | Resistivity factor |
|-------|------------|-----|-----------------|----------------------------|----------------|------------------|----------------|-----------------------|----------------------------------|---------------------|----------------|--------------------|
|       |            |     |                 | dry                        | NaCl saturated | with nitrogen    | NaCl saturated |                       |                                  | dry                 | NaCl saturated |                    |
| 1     | 2          | 3   | 4               | 5                          | 6              | 7                | 8              | 9                     | 10                               | 11                  | 12             | 13                 |
| 1     | limestones | Є   | min             | 2,661                      | 2,673          | 0,01             | 0,002          | 0,001                 | 0,03                             | 131,110             | 50,5           | 143,9              |
| 2     | limestones | Є   | max             | 2,699                      | 2,704          | 0,025            | 0,013          | 3,479                 | 0,67                             | 6,588,358           | 72,9           | 207,6              |
| 3     | limestones | Є   | avg             | 2,690                      | 2,695          | 0,016            | 0,006          | 0,442                 | 0,269                            | 1,423,156           | 66,2           | 188,6              |
| 4     | dolomites  | Є   | min             | 2,690                      | 2,694          | 0,017            | 0,005          | 0,001                 | 0,3                              | 146,508             | 28,7           | 81,7               |
| 5     | dolomites  | Є   | max             | 2,845                      | 2,854          | 0,046            | 0,038          | 0,002                 | 0,65                             | 24,441,890          | 69,8           | 198,7              |
| 6     | dolomites  | Є   | avg             | 2,753                      | 2,766          | 0,026            | 0,017          | 0,001                 | 0,41                             | 6,411,826           | 54,6           | 155,6              |
| 7     | sandstones | Є   | min             | 2,116                      | 2,222          | 0,054            | 0,044          | 0,005                 | 0,27                             | 51,610              | 7,2            | 20,4               |
| 8     | sandstones | Є   | max             | 2,486                      | 2,526          | 0,13             | 0,116          | 1,067                 | 0,86                             | 11,127,988          | 30             | 85,5               |
| 9     | sandstones | Є   | avg             | 2,290                      | 2,361          | 0,089            | 0,077          | 0,139                 | 0,71                             | 3,647,329           | 15,5           | 44,1               |

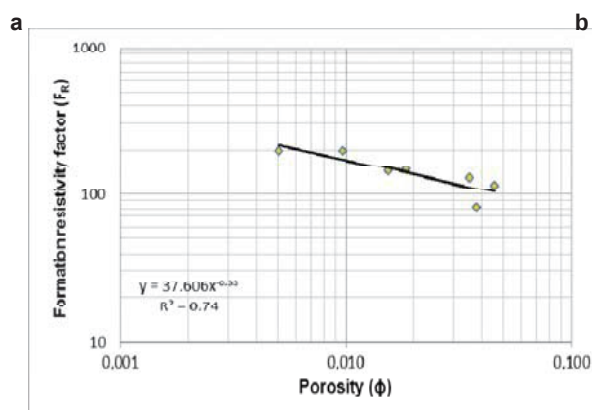
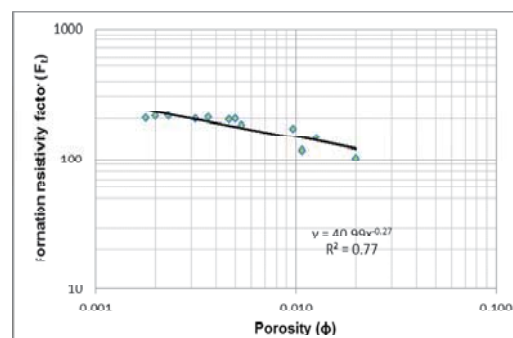
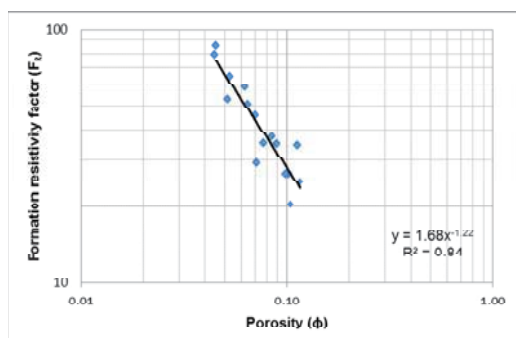


Fig. 1. Correlation between porosity ( $\phi$ ) and the formation resistivity factor ( $F_R$ ) – Archie–Dahnov Equation (laboratory conditions):  
a – sandstone, b – limestone, c – dolomite

Our laboratory studies showed the following correlation (Fig. 1a, 1b, 1c) between porosity ( $\phi$ ) and the formation resistivity factor ( $F_R$ ):  $F = a \cdot \phi^{-m}$  – Archie–Dahnov Equation for sandstone, limestone and dolomite, respectively, where  $a$  is constant coefficient, and  $m$  – structural indicator [7].

Electrical resistivity can be quantified using Archie–Dahnov Equation:  $F_R = 1.675 \cdot \phi^{-1.22}$  where  $R^2 = 0.835$  (sandstones),  $F_R = 40.99 \cdot \phi^{-0.27}$ , where  $R^2 = 0.77$  (lime-

stones),  $F_R = 37.60 \cdot \phi^{-0.33}$ ,  $R^2 = 0.74$  (dolomites), where –  $F_R = R^0/R_W$ ,  $R^0$  – the resistivity of a 100% water saturated rock,  $R_W$  – electrical resistivity of reservoir water.

Data analysis showed that in sandstones, relative changes in formation resistivity factor range from 20.4 to 85.5, with an average value of 50. Accordingly, porosity variation is within the range of 0.089 to 0.116, with an average value of 0.077. For limestone, variation in formation resistivity ranges from 143.9 to 207.6, with an average value of 180, whereas porosity varies from 0.002 to 0.015, with an average value of 0.008. Dolomites show variation in formation resistivity factor ranging from 81.7 to 198.7, with an average value of 145, and porosity variation of 0.005 to 0.038, with an average value of 0.017.

Limestone and dolomite from Volodymyrska area show little difference in the values: coefficient  $a$  is 41 and 36.6 respectively, and the structural index  $m$  – 0.273 and 0.33.

On the other hand, for sandstones from the Volodymyrska area, coefficient  $a$  is 1.675, and structural index  $m$  – 1.124, these values being markedly different from those above.

We used the centrifuge OC-6M in our laboratory experiment and carried out statistical analysis of petroelectrical measurements to determine the correlation between resistivity index ( $I_R$ ) and water saturation factor ( $S_w$ ) for the rocks under study. Correlation dependences are as follows: for sandstones –  $I_R = 1.069 \cdot S_w^{-0.92}$ , with  $R^2 = 0.82$ , for the limestones the relationship is:  $I_R = 1.169 \cdot S_w^{-0.79}$ , with  $R^2 = 0.86$ ; dolomites dependence can be expressed by the following formula:  $I_R = 0.997 \cdot S_w^{-0.87}$ , with  $R^2 = 0.79$ , where  $I_R = R_t / R_o$ ,  $R_o$  – partially water-saturated rock resistivity and  $R_t$  is water-saturated rock resistivity. Fig. 2a, 2b and 3c show the correlations:

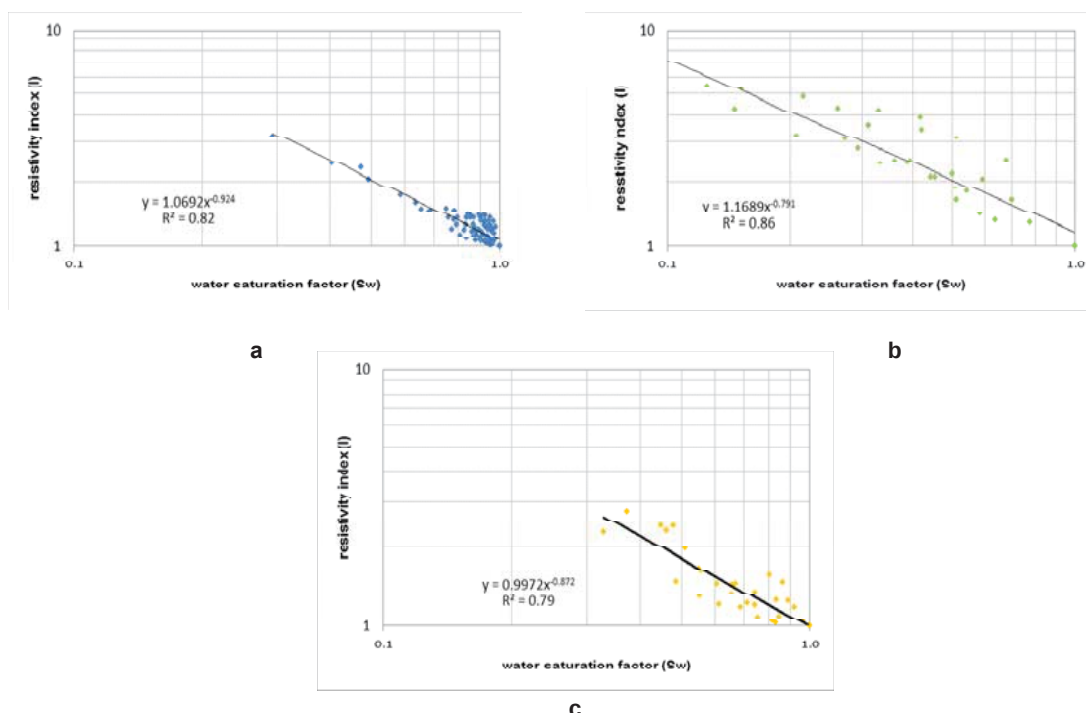


Fig. 2. Correlation between water saturation factor ( $S_w$ ) and resistivity index ( $I_R$ ):

a – sandstones, b – limestones, c – dolomites

Data analysis shows that the sandstones have a resistivity index ranging from 1 to 3.23, with an average value of 1.24. Accordingly, water saturation factor ranges from 1 to 0.29, with an average value of 0.88. For limestones, resistivity index variation is from 1 to 7.19, with an average value of 2.24 and water saturation factor ranging from 1 to 0.08, with an average value of 0.48. For dolomites, resistivity index ranges from 1 to 2.76, with an average value of 1.44 and the corresponding water saturation factor varying from 1 to 0.33, with an average value of 0.71.

It should be noted, that in the correlation equation  $I_R = b \cdot S_w^{-n}$  which expresses the relationship between water saturation factor and resistivity index, coefficient  $b$  varies from 0.997 (dolomites) to 1.17 (limestones), and wet-

tability index  $n$  ranges from 0.79 (limestones) to 0.92 (sandstones). The rocks under study show little difference in these attributes.

To evaluate specific resistivity of rocks *in situ*, we carried out a comprehensive study using a special high pressure installation – VSC-1000, with pressure ranging from the atmospheric pressure to 59 MPa. The results clearly show that under increasing pressure, closing of micro-cracks and deformation of the pore space result in an increase in the electrical resistivity of rocks. We have been able to define the correlation between the mean value of the resistivity increase coefficient ( $Q$ ) and pressure ( $p$ ) for sandstones and limestones. This relationship can be expressed by polynomials of order 3 and 4:

$$Q = 1 \times 10^{-5} p^3 - 13 \times 10^{-4} p^2 + 5.9 \times 10^{-2} p + 0.9993, \text{ with } R^2 = 0.99 \text{ (sandstones),}$$

$$Q = -8 \cdot 10^{-6} \cdot p^4 + 9 \cdot 10^{-4} \cdot p^3 - 2.98 \cdot 10^{-2} \cdot p^2 + 4.022 \cdot p + 0.4302, \text{ with } R^2 = 0.99 \text{ (limestones).}$$

Figures 3a and 3b show this relationship.

Sandstones show a variation of resistivity increasing coefficient ranging from 1 to 2.12, with an increase in the hydrostatic pressure from the atmospheric pressure up to

59 MPa. For the limestones, the variation range of resistivity increasing coefficient is from 1 to 7.7, with an increase in the hydrostatic pressure from the atmospheric pressure up to 59 MPa.

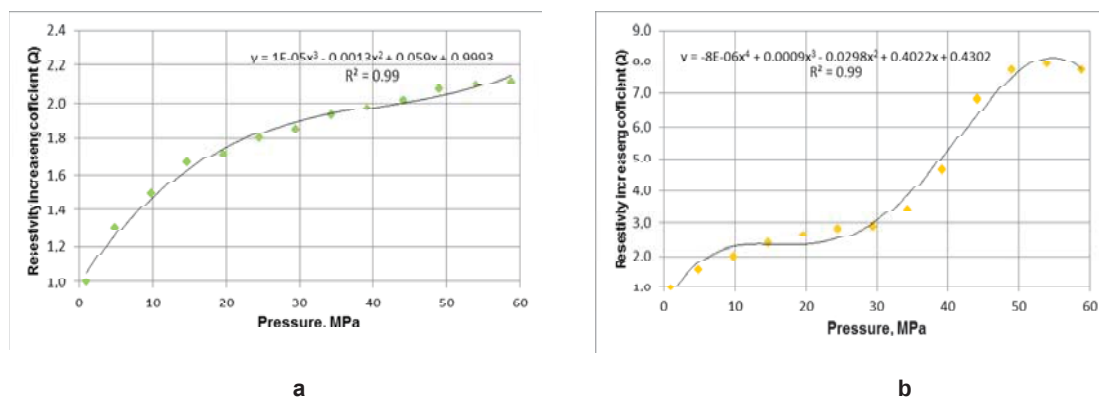


Fig. 3. Correlation between the resistivity increasing coefficient (Q) and pressure (p) for: sandstones (a) and limestones (b)

Graphs in Fig. 3 suggest that there are three areas showing marked differences in the nature of electric resistivity variation. In the first area, where pressure ranges from the atmospheric pressure to 24.5 MPa, resistivity increasing coefficient is very high – up to 1.8 for sandstones. This may be caused by intense closing of microcracks, which reduces channels conductivity. The following range of pressure variation – from 24.5 to 44 MPa – is associated with a certain stabilization of electrical resistivity variation. In this case the coefficient of resistivity increasing ranges from 1.8 to 2 for sandstones. In the range of pressures from 44 to 59 MPa resistivity increasing coefficient is lower than in the first range, but higher than in the second one. The slow growth rate of the resistivity increasing coefficient in the ranges (plots) 2 and 3 may be accounted for by relatively smaller (than in the first range) deformations of the pore space, which constricts or breaks the conduction channels. For limestones, in the first section (pressure increases from atmospheric to 9.8 MPa) the resistivity increasing coefficient varies from 1 to 2. In the range of pressures from 9.8 to 29 MPa, there is some stabilization in electrical resistivity variation to be observed. With pressure increasing above 30 MPa, the resistivity increasing coefficient rises sharply (up to 7.7 at a pressure of 59 MPa). This is probably due to abrupt closing of major cracks responsible for electrical conductivity.

Using the data on measuring resistivity under pressure, we calculated its values for the rocks *in situ*. A petroelectrical study with high pressures applied enabled us to define the relationship between porosity ( $\phi$ ) and formation resistivity factor ( $F_R$ ) *in situ*. The Archie–Dahnov Equation for the Cambrian sandstones (*in situ*) is as follows (Fig. 4):  $F_R = 1.365 \cdot \phi^{-1.52}$ , with  $R^2 = 0.92$ .

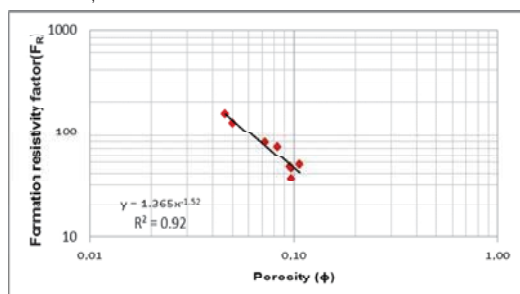


Fig. 4. Correlation between porosity ( $\phi$ ) and formation resistivity factor (FR) under *in situ* conditions for the Cambrian sandstones

To evaluate electrical anisotropy, we took measurements of electrical resistivity along and across the stratification. Resistivity anisotropy coefficient  $\lambda$  was determined using the formula:

$$\lambda = \sqrt{\frac{R_v}{R_h}}$$

where  $R_h$  and  $R_v$  = electrical resistivity along and across stratification respectively.

The results show that the resistivity anisotropy coefficient of dry extracted sandstones varies from 1.01 to 1.09, with an average value of 1.05. Anisotropy factor of saturated (NaCl solution) sandstones ranges from 1.05 to 1.18, with an average value of 1.12.

A comprehensive analysis of the petrophysical data set was the basis for determining petroelectrical models of consertal sandstones, limestones and dolomites. In this paper, the petroelectrical model is presented in the form of geoelectrical data and relationships between petroelectrical parameters and physical properties of the Volodymyrska area rocks. These data are summarized in Table 2.

**Conclusions.** We have shown that, being a powerful tool for both laboratory and field studies, electrometric methods prove to be effective and provide extensive and accurate data on the properties of rocks. Petroelectrical study plays an important role in petrophysics and is widely used in determining the physical properties of rocks and ores. Determining their composition, structure and condition is essential for solving various tasks in mineral exploration, particularly in petroleum geology.

Laboratory experiment has been conducted in order to determine the petroelectrical attributes of Cambrian sandstones, limestones and dolomites from the hydrocarbon prospective Volodymyrska area. It was found that the electrical resistivity of the dry extracted samples (determined mainly by electrical resistance of the rock matrix) ranges from  $5.2 \cdot 10^4$  Ohms·m (sandstones) to  $2.4 \cdot 10^7$  (dolomites), with an average value of  $3.8 \cdot 10^6$ . The electrical resistivity of rock samples saturated with synthetic brine (NaCl solution) ranges from 7.2 Ohms·m (sandstones) to 73 (limestones), with an average value of 45. The formation resistivity factor ranges from 20.4 to 85.5 with an average value of 44.1 (sandstones); from 143.9 to 207.6, with an average value of 188.6 (limestones); from 81.7 to 198.7, with an average value of 155.6 (dolomites). The variation range of the resistance increase is: from 1 to 3.24, with an average value of 1.24 (sandstones); from 1 to 7.19, with an average value of 2.24 (limestones); from 1 to 2.76, with an average value of 1.44 (dolomites). Sandstones are characterized by changes in resistance from 1 to 2.12 with an increase in pressure from atmospheric to hydrostatic (to 59 MPa), while for limestones the resistivity index ranges from 1 to 7.7, with pressure ranging between 0–49 MPa. Our study has revealed empirical relationships between petroelectrical parameters and filtration–capacity properties of sandstones, limestones and dolomites, which are essential to the geological interpretation of geophysical data. These

relationships are approximated by a power function.

Extensive petroelectrical research into the properties of sandstones, limestones and dolomites has ensured accurate petroelectrical models of these rocks based on geological and geophysical data. The models show significant differences in the electrical parameters of sandstones, limestones and dolomites. These models can become a powerful tool in studying the petrophysical properties of

different rock types. Further research into petroelectrical properties of rocks will require data on dielectric permeability, dielectric loss tangent, as well as evaluating the relevance of geoelectric parameters which account for variation in electrical resistivity of dry extracted samples exposed to direct current over longer periods of time and establishing their correlations with logging data.

Table 2

Petroelectrical models of rocks (wells Volodymyrska-1 and Volodymyrska-2, the interval 1,190–2,520 m) from Volodymyrska area

| Index | Petroelectrical parameter/<br>Correlation dependence                                                        | Parameter variation range (mean value)/<br>Correlation equation (correlation coefficient)                      |                                                                                                                                         |                                                              |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
|       |                                                                                                             | Sandstones                                                                                                     | Limestones                                                                                                                              | Dolomites                                                    |
| 1     | 2                                                                                                           | 3                                                                                                              | 4                                                                                                                                       | 5                                                            |
| 1     | Electrical resistivity of dry extracted samples                                                             | $5.2 \cdot 10^4 \div 1.1 \cdot 10^7$<br>( $3.6 \cdot 10^6$ )                                                   | $1.3 \cdot 10^5 \div 6.6 \cdot 10^6$<br>( $1.4 \cdot 10^6$ )                                                                            | $1.5 \cdot 10^5 \div 2.4 \cdot 10^7$<br>( $6.4 \cdot 10^6$ ) |
| 2     | Electrical resistivity of rock samples saturated with synthetic brine (NaCl solution)                       | $7.2 \div 30$<br>(17.6)                                                                                        | $50.5 \div 72.9$<br>(63.2)                                                                                                              | $28.7 \div 69.8$<br>(51)                                     |
| 3     | Formation resistivity factor (F) in laboratory conditions                                                   | $20.4 \div 85.8$<br>(50)                                                                                       | $143.9 \div 207.6$<br>(180)                                                                                                             | $81.7 \div 198.7$<br>(145)                                   |
| 4     | Formation resistivity factor (F) under <i>in situ</i> conditions                                            | $36 \div 146$<br>(75)                                                                                          | –                                                                                                                                       | –                                                            |
| 5     | Archie–Dahnov dependence (laboratory conditions)                                                            | $F = 1.675 \cdot PF^{-1.224}$<br>with $R^2=0.84$                                                               | $F = 41 \cdot PF^{-0.273}$ with $R^2=0.77$                                                                                              | $F = 37.6 \cdot PF^{-0.33}$ with $R^2=0.74$                  |
| 6     | Archie–Dahnov dependence ( <i>in situ</i> conditions)                                                       | $F = 1.365 \cdot PF^{-1.519}$ with $R^2=0.92$                                                                  | –                                                                                                                                       | –                                                            |
| 7     | Resistivity anisotropy coefficient $\lambda$ of dry extracted samples                                       | $1.01 \div 1.09$<br>(1.05)                                                                                     | –                                                                                                                                       | –                                                            |
| 8     | Resistivity anisotropy coefficient $\lambda$ of rock samples saturated with synthetic brine (NaCl solution) | $1.05 \div 1.18$<br>(1.12)                                                                                     | –                                                                                                                                       | –                                                            |
| 9     | Resistivity index (I)                                                                                       | $1 \div 3.24$<br>(1.24)                                                                                        | $1 \div 7.19$<br>(2.24)                                                                                                                 | $1 \div 2.76$<br>(1.44)                                      |
| 10    | Correlation between water saturation factor ( $S_w$ ) and resistivity index (I)                             | $I = 1.067 \cdot S_w^{-0.925}$<br>with $R^2=0.82$                                                              | $I = 1.09 \cdot S_w^{-0.86}$<br>with $R^2=0.82$                                                                                         | $I = 1.003 \cdot S_w^{-0.864}$ with $R^2=0.79$               |
| 11    | Correlation between resistivity increase (Q) and pressure (p)                                               | $Q = 1 \cdot 10^{-5} p^3 - 13 \cdot 10^{-4} \cdot p^2 + 5.9 \cdot 10^{-2} \cdot p + 0.9993$<br>with $R^2=0.99$ | $Q = -8 \cdot 10^{-6} \cdot p^4 + 9 \cdot 10^{-4} \cdot p^3 - 3.06 \cdot 10^{-2} \cdot p^2 + 4.045 \cdot p + 0.3645$<br>with $R^2=0.97$ | –                                                            |
| 12    | Coefficient of resistivity increasing with pressure changing from atmospheric to 59 MPa                     | $1 \div 2.12$                                                                                                  | $1 \div 7.7$                                                                                                                            | –                                                            |

#### References

- Вижва С. А. Петроелектричні дослідження керна свердловини Чорноморського шельфу / С. А. Вижва, М. В. Рева, А. П. Гожик, В. І. Онишчук, І. І. Онишчук // Вісн. Київ. нац. ун-ту ім. Т. Г. Шевченка. Сер. Геологія. – 2008. – № 44. – С. 4–8.
- S. Vyzhva, N. Reva, A. Gozhyk, V. Onyshchuk I. Onyshchuk, (2008). Petroelectrical investigations of borehole core of Black Sea shelf [Petroelektrychni doslidzhennya kermu sverdlavyny Chornomorskogo shelfu]. Visnyk Kyivskogo universytetu. Geologiya – Herald of Kyiv University. Geology, 44, 4–8.
- Вижва С. А. Петроелектричні дослідження керна складнопобудованих порід-колекторів / С. А. Вижва, М. В. Рева, А. П. Гожик, В. І. Онишчук, І. І. Онишчук // Вісн. Київ. нац. ун-ту ім. Т. Г. Шевченка. Сер. Геологія. – 2010. – № 50. – С. 4–7.
- S. Vyzhva, N. Reva, A. Gozhyk, V. Onyshchuk I. Onyshchuk, (2010). Petroelectrical investigations of borehole core of complexly-build reservoir rocks [Petroelektrychni doslidzhennya kermu skladnopolbudovanykh porid-kolektoriv]. Visnyk Kyivskogo universytetu. Geologiya – Herald of Kyiv University. Geology, 50, 4–7.
- Вижва С. А. Петроелектрична модель порід-колекторів Західно-Шебелинського газоконденсатного родовища / С. А. Вижва, Д. І. Онишчук, В. І. Онишчук // Вісн. Київ. нац. ун-ту ім. Т. Г. Шевченка. Сер. Геологія. – 2012. – № 57. – С. 13–16.
- S. Vyzhva, D. Onyshchuk V. Onyshchuk. (2012). Petroelectrical investigations of reservoir rocks of Western-Shebelynske gas condensate field [Petroelektrychna model porid-kolektoriv Zahidno-Shebelynskego

gazokondensatnogo rodovyscha]. Visnyk Kyivskogo universytetu. Geologiya – Herald of Kyiv University. Geology, 57, 13–16.

- Дахнов В. Н. Геофизические методы определения коллекторских свойств и нефтегазонасыщения пород / В. Н. Дахнов // Недра. – 1975. – 343 с.

V. Dahnov, (1975). Geophysical methods of assesment of reservoir characteristics and hydrocarbon saturation of rocks [Geofizicheskie metody opredeleniya kollektorskih svoystv i neftegazonasyshcheniya porod] Nedra – Subsurface, 343.

- Петрофизика : справочник / Н. Б. Дортман. – М. : Недра, 1992. – Ч. 1. – 391 с.

N. Dortman, (1992) Petrophysics. Handbook. part 1 [Petrofizika. Spravochnik ch.1]. Nedra – Subsurface, 391.

- Петрофизика : справочник / Н. Б. Дортман. – М. : Недра, 1992. – Ч. 2. – 304 с.

N. Dortman, (1992) Petrophysics. Handbook. part 2 [Petrofizika. Spravochnik ch.2]. Nedra – Subsurface, 304.

- Физические свойства горных пород и полезных ископаемых : справочник геофизика / Н. Б. Дортман. – М. : Недра, 1984. – 455 с.

N. Dortman, (1984). Physical properties of rocks and mineral deposits. Geophysics Handbook [Fizicheskie svoystva gornikh porod i poleznykh iskopaemykh. Spravochnik geofizika]. Nedra – Subsurface, 455.

- Пархоменко Э. И. Электрические свойства горных пород / Э. И. Пархоменко. – М. : Наука, 1965. – С. 164.

E. Parkhomenko, (1965). Electrical properties of rocks [Elektricheskie svoystva gornykh porod]. Nauka – Science, 164.

Надійшла до редколегії 17.09.14

С. Вижва, д-р. геол. наук, проф.  
vsa@univ.kiev.ua,  
Д. Онищук, інж. I кат. д/б теми 11БП049-01  
boenerges@ukr.net  
В. Онищук, канд. геол. наук, асист.  
vitus16@ukr.net  
Т. Пастушенко, канд. філол. наук  
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, ННІ "Інститут геології"  
вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна

### ЭЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОРІД КЕМБРІЮ ВОЛИНО-ПОДІЛЛЯ

У статті розглядаються результати та особливості методики петроелектричних досліджень при вивченні складно побудованих карбонатних і теригенних колекторів. Наведено результати визначення електричних параметрів та їхній зв'язок з ємнісними властивостями пісковиків, вапняків і доломітів кембрію Володимирської площі Волино-Поділля. Метою проведених досліджень була розробка та створення петроелектричних моделей порід-колекторів як основи комплексного аналізу їхніх електричних параметрів і зв'язків з ємнісно-фільтраційними властивостями. Комплекс петрофізичних лабораторних досліджень включає визначення: густини досліджених порід (сухих і насичених моделлю пластової води); відкритої пористості (методами насичення азотом і моделлю пластової води); коефіцієнта залишкового водонасичення (методом центрифугування); проникності (методом стаціонарної фільтрації азоту); інтервального часу (швидкості поздовжніх пружних хвиль) і питомого електричного опору. У процесі лабораторних робіт визначався питомий електричний опір зразків порід при різних умовах (сухі, неповністю та повністю насичені розчином-імітатором пластового флюїду) в атмосферних умовах, а також в умовах наближених до пластових.

У результаті виконаних лабораторних досліджень вивчено петроелектричні параметри пісковиків, вапняків і доломітів кембрію Володимирської площі, перспективної на вуглеводні. Установлено, що значення питомого електричного опору сухих екстрагованих зразків (питомий електричний опір мінерального скелета) змінюється від 5,2-104 (пісковики) до 2,4-107 Ом-м (доломіти) при середньому значенні 3,8-106 Ом-м. Питомий електричний опір зразків порід насичених моделлю пластової рідини (розчин NaCl) змінюється від 7,2 (пісковики) до 73 Ом-м (вапняки) при середньому значенні 45 Ом-м. Діапазон зміни відносного електричного опору становить: від 20,4 до 85,5 при середньому значенні 44,1 (пісковики); від 143,9 до 207,6 при середньому значенні 188,6 (вапняки); від 81,7 до 198,7 при середньому значенні 155,6 (доломіти). Діапазон зміни параметра збільшення електричного опору становить: від 1 до 3,24 при середньому значенні 1,24 (пісковики); від 1 до 7,19 при середньому значенні 2,24 (вапняки); від 1 до 2,76 при середньому значенні 1,44 (доломіти). Пісковики мають діапазон зміни коефіцієнта збільшення опору від 1 до 2,12 при збільшенні всесічного тиску від атмосферного до 59 МПа. Для вапняків діапазон зміни коефіцієнта збільшення опору становить від 1 до 7,7 при збільшенні всесічного тиску від атмосферного до 49 МПа.

Установлені емпіричні кореляційні залежності між петроелектричними параметрами та ємнісно-фільтраційними властивостями досліджених порід (між відносним опором і коефіцієнтом пористості в лабораторних і пластових умовах; між параметром збільшення електричного опору та коефіцієнтом водонасичення), що служать основою геологічної інтерпретації геофізичних даних. Ці залежності апроксимуються в більшості випадків степеневі функцією. Аналіз наведених даних свідчить про те, що електрометричні методи є потужним засобом як лабораторних, так і польових досліджень, досить ефективні й надають широку та цінну інформацію про властивості порід.

Ключові слова: дослідження керна, фільтраційно-ємнісні параметри, електричні параметри, поровий простір, кореляційні залежності, пісковик, вапняк, пористість, електричний опір, тиск, проникність, петроелектричні параметри.

С. Выжва, д-р геол. наук, проф.  
vsa@univ.kiev.ua,  
Д. Онищук, канд. геол. наук, инж. г/б темы 11БП049-01  
boenerges@ukr.net,  
В. Онищук, канд. геол. наук, ассист.  
vitus16@ukr.net,  
Т. Пастушенко, канд. филол. наук  
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,  
УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина

### ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОРОД КЕМБРИЯ ВОЛЫНО-ПОДОЛЬЯ

Рассматриваются особенности методики и результаты петроэлектрических исследований при изучении сложно построенных карбонатных и терригенных коллекторов. Приведены результаты определения электрических параметров и их связь с емкостными свойствами песчаников, известняков и доломитов кембрия Владимирской площади Волино-Подолья. Целью проведенных исследований была разработка и создание петроэлектрических моделей пород-коллекторов как основы комплексного анализа их электрических параметров и связей с емкостно-фильтрационными свойствами. Комплекс петрофизических лабораторных исследований включал определение: плотности исследованных пород (сухих и насыщенных моделью пластовой воды); открытой пористости (методами насыщения азотом и моделью пластовой воды); коэффициента остаточного водонасыщения (методом центрифугирования); проницаемости (методом стационарной фильтрации азота); интервального времени (скорости продольных упругих волн) и удельного электрического сопротивления. В процессе лабораторных работ определялось удельное электрическое сопротивление образцов пород при разных условиях (сухие, частично и полностью насыщенные раствором-имитатором пластового флюида) в атмосферных условиях, а также в условиях приближенных к пластовым.

В результате выполненных лабораторных исследований изучены петроэлектрические параметры песчаников, известняков и доломитов кембрия Владимирской площади перспективной на углеводороды. Удельное электрическое сопротивление сухих экстрагированных образцов (удельное электрическое сопротивление минерального скелета) изменяется от 5,2-104 (песчаники) до 2,4-107 Ом-м (доломиты) при среднем значении 3,8-106 Ом-м. Удельное электрическое сопротивление пород, насыщенных моделью пластовой жидкости (раствор NaCl), изменяется от 7,2 (песчаники) до 73 Ом-м (известняки) при среднем значении 45 Ом-м. Диапазон изменения относительного электрического сопротивления: 20,4 – 85,5 при среднем значении 44,1 (песчаники); 143,9 – 207,6 при среднем значении 188,6 (известняки); от 81,7 до 198,7 при среднем значении 155,6 (доломиты). Диапазон изменения параметра увеличения электрического сопротивления: 1 – 3,24 при среднем значении 1,24 (песчаники); 1 – 7,19 при среднем значении 2,24 (известняки); 1 – 2,76 при среднем значении 1,44 (доломиты). Песчаники характеризуются диапазоном изменения коэффициента увеличения сопротивления 1 – 2,12 при увеличении всестороннего давления от атмосферного до 59 МПа. Для известняков диапазон изменения коэффициента увеличения сопротивления составляет 1 – 7,7 при увеличении всестороннего давления от атмосферного до 49 МПа.

Установлены эмпирические корреляционные зависимости между петроэлектрическими параметрами и емкостно-фильтрационными свойствами исследованных пород (между относительным электрическим сопротивлением и коэффициентом пористости в лабораторных и пластовых условиях; между параметром увеличения сопротивления и коэффициентом водонасыщения), которые служат основой геологической интерпретации геофизических данных. Эти зависимости аппроксимируются в большинстве случаев степенной функцией. Анализ приведенных данных свидетельствует о том, что электрометрические методы являются мощным средством как лабораторных, так и полевых исследований, достаточно эффективны и предоставляют широкую и ценную информацию о свойствах пород.

Ключевые слова: исследование керна, фильтрационно-емкостные параметры, электрические параметры, поровое пространство, корреляционные зависимости, песчаник, известняк, пористость, удельное электрическое сопротивление, давление, проницаемость, петроэлектрические параметры.

УДК 550.832:550.8.05

I. Карпенко, здобувач  
E-mail: sharanskiy@gmail.com,  
О. Карпенко, д-р геол. наук, проф.  
E-mail: alexbrig@inbox.ru,  
Київський національний університет імені Тараса Шевченка  
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна  
Г. Башкіров, канд. геол.-мінералог. наук, старш. наук. співроб.  
ДП "Наукагаз" НАК "Нафтогаз України",  
E-mail: magnum669@gmail.com  
вул. Київська, 8, м. Вишневе, Києво-Святошинський р-н, 08132, Україна,

## ПЕТРОФІЗИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ОЦІНКИ ВМІСТУ КЕРОГЕНУ В ГІРСЬКИХ ПОРОДАХ ЗА ДАНИМИ ПРОМИСЛОВОЇ ГЕОФІЗИКИ

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

*Важливість вивчення фізичних властивостей органічної речовини в гірських породах значною мірою пов'язується з перспективами суттєвого збільшення видобутку сланцевого газу. Геофізична діагностика, у тому числі оцінка вмісту кєрогену в сланцевих товщах, потребує належного петрофізичного забезпечення. Виконаний аналіз публікацій про фізичні властивості органічної речовини з відомих родовищ сланцевого газу США дозволив отримати петрофізичні залежності для кількісних розрахунків вмісту кєрогену за даними промислової геофізики. Раніше нами було розроблено систему інтерпретаційних рівнянь, в яких присутні петрофізичні константи, що визначають окремі характеристики твердої частини органічної речовини в гірських породах. Розроблено математичні моделі, які пов'язують інтервальний час позовжньої акустичної хвилі, питомий вміст водню з густиною та катагенетичною зрілістю органічної речовини. Наведено рівняння виявлених закономірностей зміни величини відбитої здатності вітрити зростанням глибини залягання відкладів для різних площ Дніпровсько-Донецької западини. На основі проведених досліджень показано шляхи уточнення петрофізичних характеристик органічної речовини з урахуванням ступеня її зрілості та конкретних нафтогазових товщ або територій.*

**Ключові слова:** сланцевий газ, гірська порода, петрофізичні характеристики, кєроген, питомий вміст водню, густина.

**Постановка проблеми.** Зі збільшенням попиту на вуглеводневу сировину зростає зацікавленість нафтогазових компаній у пошуках родовищ так званого "сланцевого типу". Подібні родовища потенційно існують у багатьох нафтогазових регіонах світу. Проте їхнє відкриття, подальша розвідка та вивчення вимагають де-що відмінних від традиційних методів геологорозвідувальних робіт. Під час діагностики потенційних газосланцевих товщ обов'язково оцінюють розподіл органічної речовини (ОР) по розрізах свердловин. Для цього застосовують як лабораторні методи дослідження кєрногового матеріалу, так і більш експресні та представницькі – методи промислової геофізики. Інтерпретаційні моделі оцінки вмісту ОР за даними геофізичних досліджень свердловин базуються на петрофізичних особливостях кєрогену у складі гірських порід. Стаття присвячена результатам вивчення петрофізичних і геофізичних характеристик ОР з метою вдосконалення кількісної інтерпретації геофізичних даних.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Серед останніх публікацій, присвячених петрофізичним і петрографічним властивостям ОР газосланцевих порід, найбільш значущими та відомими, на нашу думку, є роботи (R. G. Loucks, R. M. Reed, S. C. Ruppel, D. M. Jarvie, 2009; Q. R. Passey, 2012; C. J. Modica, S. G. Lapierre, 2012; V. Kuchinskiy, 2013) [1–5]. У попередніх дослідженнях зроблено детальний аналіз існуючих геофізичних методів та опублікованих результатів різних авторів стосовно вивчення петрографічних особливостей органічної речовини. Проте слід зазначити, що у відмічених роботах недостатньо висвітлено питання вивчення петрофізичних характеристик, які б дозволили використовувати їх повною мірою для оцінки вмісту ОР за даними геофізичних досліджень шляхом застосування запропонованої нами системи петрофізичних рівнянь.

**Цілі та задачі.** Метою досліджень, результати яких наведено в статті, є отримання необхідної петрофізичної інформації, розробка оригінальних підходів до оцінки петрофізичних характеристик органічної речовини, необхідних для кількісної інтерпретації даних промислової геофізики при діагностиці газосланцевих товщ.

Завданням, що було нами поставлено, є розробка способів оцінки густини, швидкості позовжньої хвилі (або інтервального часу розповсюдження р-хвилі) в органічній речовині, а також – питомого вмісту водню ОР (для петрофізичного рівняння нейтронної пористості). Усі наведені параметри входять у вигляді петрофізичних констант до розробленої та апробованої нами систему інтерпретаційних рівнянь, яка дозволяє за даними ГДС оцінювати коефіцієнти глинистості, загальної пористості та вміст органічної речовини або органічного вуглецю в потенційних газосланцевих товщах та інших осадових породах, що становлять розріз свердловини.

**Не розв'язані раніше задачі та частини загальної проблеми.** Слід зазначити, що питання, пов'язане з оцінкою конкретних значень петрофізичних коефіцієнтів, характерних для газосланцевих товщ, або безпосередньо – для різних типів органічної речовини порід, що вивчаються, дуже непросте. Для точного визначення петрофізичного коефіцієнта, як відомо, використовують дво- або багатовимірні залежності типу "кєрн-кєрн" або "кєрн-геофізика" за наявності достатньої кількості (обсягу) представницьких даних. Нами використано дані з окремих площ і родовищ США (рис. 1), а також з перспективних ділянок центральної та східної частин ДДЗ. На основі аналізу наявної інформації розроблено рекомендації, як використовувати геофізичні та петрофізичні дані для визначення або уточнення петрофізичних коефіцієнтів. Слід зазначити, що в деяких випадках рекомендовано усереднені, узагальнені значення для петрофізичних характеристик ОР, що в складі теригенних порід.

Оцінка значень інтервального часу позовжньої хвилі в твердій частині ОР ( $\Delta T_{org.sk}$ ).

Нами було використано літературні дані статей [6–7], в яких описано, зокрема, технологію оцінки вмісту ОР за методикою Carblog. На рис. 2 наведено розподіл середніх значень окремих петрофізичних характеристик компонентів гірських порід, притаманних нафтогазоматеринським товщам, і які було прийнято для використання при інтерпретації даних ГДС геофізиками США [6] та Польщі [7].

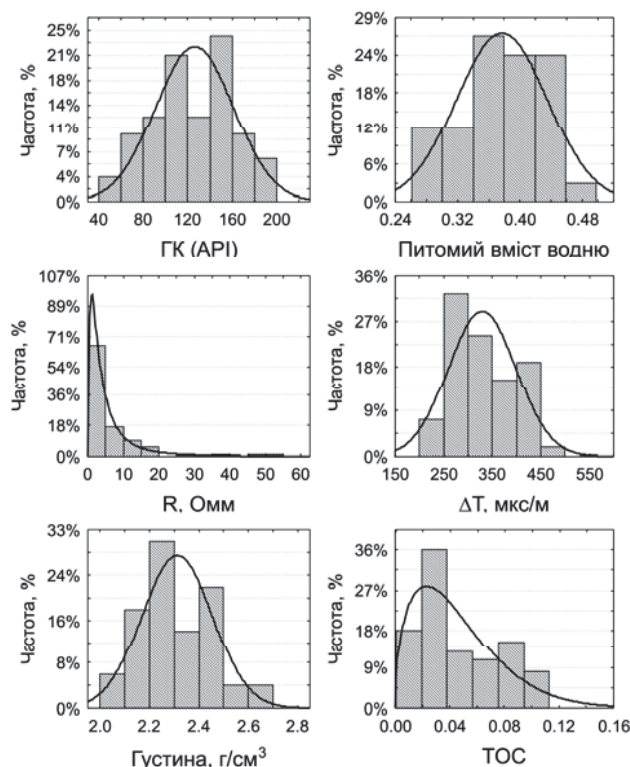


Рис. 1. Гістограми розподілів ймовірностей значень петрофізичних параметрів для порід газосланцевих товщ (за даними Q. R. Passey, K. E. Dahlberg, K. B. Sullivan та ін., 2006 [9])

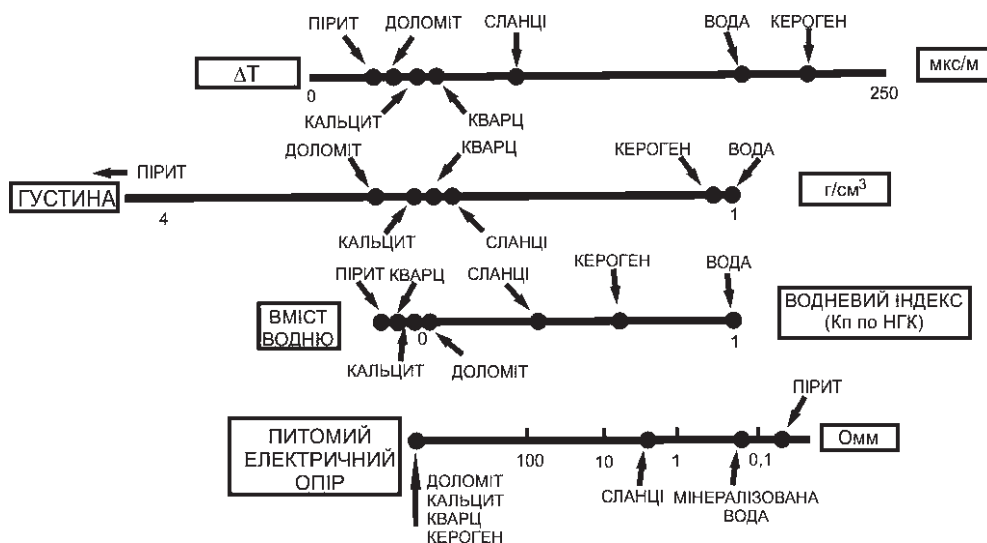


Рис. 2. Розподіли середніх петрофізичних значень для окремих компонентів газосланцевої товщі (за B. Carpentier та ін., 1989; 1992, M. Ciechanowska, J. Kusmierek, 1992)

За результатами статистичного аналізу табличних даних [6, 7] за петрофізичними параметрами газосланцевих товщ найвідоміших родовищ США нами отримано рівняння (1) (рис. 3). У наведеному рівнянні враховано дані для глинистих порід з різним вмістом ОР. Із припущення, що ОР має густину  $\sigma_{орг.ск}$  1,0-103 кг/м<sup>3</sup>, інтервальний час позовжньої хвилі станорвितиме за рівнянням (1) 829,5 мкс/м; за значенням  $\sigma_{орг.ск}$  = 1,1-103 кг/м<sup>3</sup>, інтервальний час позовжньої хвилі 794,7 мкс/м; за значенням  $\sigma_{орг.ск}$  = 1,2-103 кг/м<sup>3</sup>, інтервальний час, відповідно, 759,0 мкс/м. За наведеними даними в [6–8] величина інтервального часу твердої частини ОР дорівнює 830 мкс/м. Таким чином, за відсутності апіорної інформації для кер-

нових даних можна скористатись наведеними вище оцінками значення  $\Delta T_{орг.ск}$ .

$$\Delta T_{орг.ск} = 1177,8 - 348,3 \cdot \sigma_{орг.ск} \cdot n = 112 \quad r = 0,9 \quad (1)$$

Величина питомого вмісту водню твердої частини ОР у теригенних породах  $\omega_{орг.ск}$  суттєво залежить від ступеня катагенетичної зрілості керогену, визначалася нами на основі даних по газосланцевих родовищах США (B. Carpentier та ін., 1989) за допомогою регресійного аналізу. За результатами статистичного аналізу табличних даних [6] нами розраховано рівняння регресії між вмістом ОР та нейтронною пористістю (рис. 4). Отримано оптимальне рівняння регресії (з невисоким рівнем кореляції)

$$\omega_{орг.ск} = 0,5354 + 0,2134 \cdot \log(K_{орг}) \cdot n = 112 \quad R = 0,62 \quad (2)$$

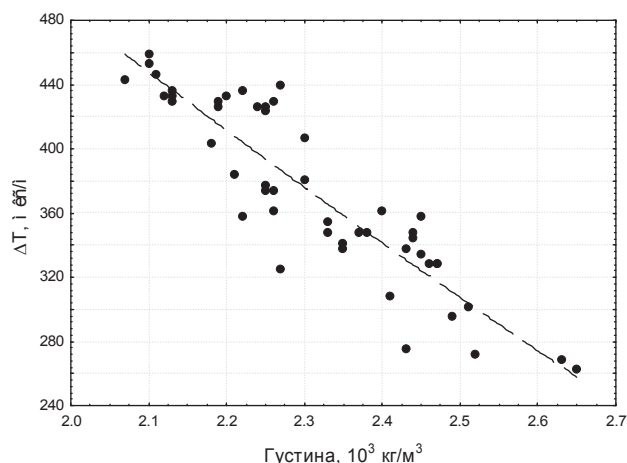


Рис. 3. Статистична залежність інтервального часу поздовжньої хвилі від густини газосланцевої породи (вихідні дані – В. Carpentier та ін., 1989)

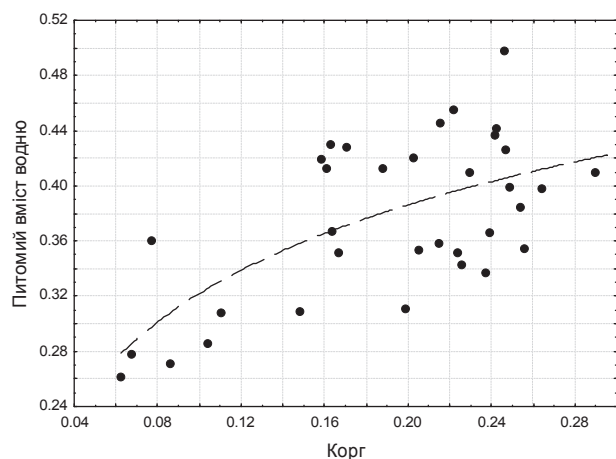


Рис. 4. Статистична залежність між величиною нейтронної пористості (питомим вмістом водню) і вмістом органічної речовини (вихідні дані – В. Carpentier та ін., 1989)

Наведене вище рівняння дозволяє розрахувати значення питомого водневмісту твердої частини ОР (керогену). За умови  $\text{Корг} = 1$  розрахунок дає результат 0,54. Отриману величину можна наближено вважати питомим водневмістом керогену за середнім значенням коефіцієнта відбиття здатності вітриніту 0,61 [6].

Інший підхід до оцінки  $\omega_{\text{орг.ск}}$  полягає у використанні петрофізичних кореляційних залежностей: якщо відомі характерні значення петрофізичних констант для керогену, то за такими рівняннями можна розрахувати шукані параметри ОР. Так, за даними з роботи [6] нами встановлено рівняння (3) регресії між густиною  $\sigma_n$  та питомим вмістом водню  $\omega_n$  для порід з підвищеним вмістом ОР та глинистої компоненти (рис. 5):

$$\omega_n = -0,046 + 0,86 \cdot \sigma_n - 0,3 \cdot \sigma_n^2. \quad n = 112 \quad R = 0,81 \quad (3)$$

Наведене рівняння дозволяє оцінити величину водневмісту керогену за різних значень густини останнього. Як відомо, густина керогену тісно пов'язана зі ступенем катагенетичної зрілості ОР. Результати розрахунків за рівнянням (3) за умови, що  $\text{Корг} = 1$ :

$$\omega_{\text{орг.ск}} = 0,51$$

за умови – густина ОР дорівнює  $1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ;

$$\omega_{\text{орг.ск}} = 0,54$$

за умови – густина ОР дорівнює  $1,1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ;

$$\omega_{\text{орг.ск}} = 0,55$$

за умови – густина ОР дорівнює  $1,2 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ .

Наведені значення є характерними для певних типів керогену; вони можуть суттєво змінюватись залежно від генезису та зрілості ОР.

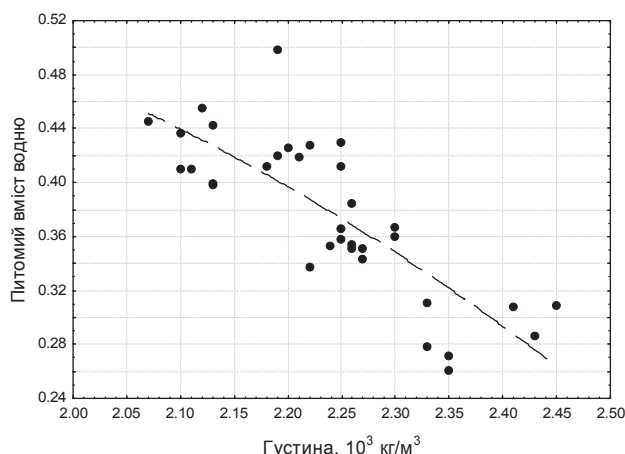


Рис. 5. Статистична залежність між величиною нейтронної пористості (питомим вмістом водню) і густиною газосланцевих порід (вихідні дані – В. Carpentier та ін., 1989)

Розглянемо, які значення  $\omega_{\text{орг.ск}}$  пропонують автори робіт, присвячених вивченню петрофізичних особливостей газосланцевих товщ. У роботі [5] за величини коефіцієнта відбиття вітриніту  $R_0$  0,9–1,0 величина водневмісту ОР в середньому дорівнює 0,64. Автори роботи [3] пропонують середнє значення величини  $\omega_{\text{орг.ск}}$  0,59, але тут величина  $R_0$  вища: 1,0–1,1 (більша зрілість керогену).

За різними даними, величина нейтронної пористості (питомого водневмісту) зрілої ОР в межах від 0,75 (дані недостатньо статистично достовірні) до 0,51. За умови відсутності представницьких результатів аналітичних досліджень керна з газосланцевих товщ можна використовувати значення  $\omega_{\text{орг.ск}} = 0,6$  (величина  $R_0$  менша за 1,0), або 0,5–0,55 – за значеннями  $R_0$  більше за 1,0.

Густина,  $\text{г/см}^3$

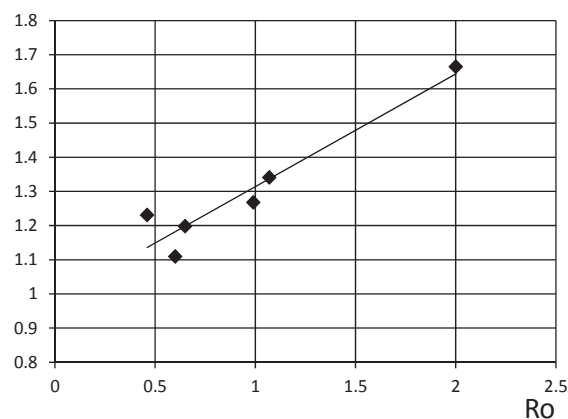


Рис. 6. Статистична залежність між величиною коефіцієнта відбиття вітриніту і значеннями густини органічної речовини (за даними L. Vernik, X. Liu, 1997 [8])

Значення густини твердої частини (скелета) ОР  $\sigma_{ор.ск}$  у складі газосланцевої товщі. Численними дослідженнями встановлено факт збільшення густини керогену зі збільшенням катагенетичних перетворень ОР. Так, за табличними значеннями в роботі [8] та за текстовою інформацією наводяться значення густини керогену  $(1,18-1,25) \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$  на ранніх стадіях генерації вуглеводнів. Під час головної фази генерації сланцевого газу – автори роботи [8] рекомендують значення густини ОР  $1,35 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ . За наведеними табличними даними роботи [8] побудовано графік залежності та розраховано рівняння регресії – впливу катагенетичної зрілості ОР (через величину  $R_0$ ) на значення густини керогену (рис. 6, рівняння (4)).

$$\sigma_{ор.ск} = 0,984 + 0,3297 \cdot R_0 \cdot r = 0,95 \quad (4)$$

Таким чином, зазвичай величина густини ОР змінюється в межах від 1,1 до  $(1,5-1,6) \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$  на різних стадіях зрілості керогену та генерації вуглеводнів.

За результатами статистичної обробки даних лабораторних вимірювань коефіцієнта відбиття вітриніту у зразках порід, відібраних з різних свердловин і площ ДДЗ, нами отримано рівняння регресії зміни величини  $R_0$  зі зростанням глибини залягання відкладів. Як видно, коефіцієнти в рівняннях регресії та градієнти зростання  $R_0$  з глибиною суттєво відрізняються для різних площ. Цей факт слід враховувати та користуватись рівняннями, що подібні до наведених у табл. 1, для розрахунків петрофізичних констант керогену, які залежать від ступеня катагенетичних перетворень порід та ОР.

Таблиця 1

Зміни величини  $R_0$  зі зростанням глибини залягання відкладів для різних площ ДДЗ

| №  | № свердловини, площа (родовище) | Глибина Н, м |        | Кількість вимірів $R_0$ | $R_0 = f(H)$                         | grad ( $R_0/H$ ) $\cdot 10^3$ | r    |
|----|---------------------------------|--------------|--------|-------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|------|
|    |                                 | H min        | H max  |                         |                                      |                               |      |
| 1  | 1-Артемівська                   | 2015         | 4486,3 | 12                      | $R_0, \% = -0,3231 + 0,0004 \cdot H$ | 0,4                           | 0,97 |
| 2  | 403-Більська                    | 2313,5       | 2890,9 | 6                       | $R_0, \% = 1,1543 - 0,0002 \cdot H$  | 0,2                           | 0,96 |
| 3  | 487-Гадяцька                    | 3756,4       | 4525   | 20                      | $R_0, \% = -0,1898 + 0,0002 \cdot H$ | 0,2                           | 0,84 |
| 4  | 1-Донецька                      | 4581,8       | 5228,6 | 7                       | $R_0, \% = -1,6106 + 0,0008 \cdot H$ | 0,8                           | 0,82 |
| 5  | 637-Дробишівська                | 2666,4       | 4585   | 17                      | $R_0, \% = -0,837 + 0,0006 \cdot H$  | 0,6                           | 0,93 |
| 6  | 491-Кісівська                   | 4493,5       | 6092   | 11                      | $R_0, \% = -1,3188 + 0,0004 \cdot H$ | 0,4                           | 0,99 |
| 7  | 4-Комишуваська                  | 1450,9       | 4325,4 | 11                      | $R_0, \% = -0,3149 + 0,0007 \cdot H$ | 0,7                           | 0,97 |
| 8  | 500-Мачуська                    | 3318,7       | 5511   | 12                      | $R_0, \% = -0,8509 + 0,0004 \cdot H$ | 0,4                           | 0,95 |
| 9  | 313-Пд.-Жданівська              | 3900,2       | 5036,9 | 5                       | $R_0, \% = -0,5514 + 0,0003 \cdot H$ | 0,3                           | 0,98 |
| 10 | 2-Рудівська                     | 4251         | 4872   | 7                       | $R_0, \% = -2,848 + 0,0008 \cdot H$  | 0,8                           | 0,96 |
| 11 | 609-Святогірська                | 2852         | 4764   | 12                      | $R_0, \% = -0,6845 + 0,0005 \cdot H$ | 0,5                           | 0,97 |
| 12 | 613-Слов'янська                 | 2696         | 4929   | 15                      | $R_0, \% = -0,5206 + 0,0005 \cdot H$ | 0,5                           | 0,96 |
| 13 | 205-Солохівська                 | 3209,5       | 4312,1 | 10                      | $R_0, \% = -0,5893 + 0,0003 \cdot H$ | 0,3                           | 0,91 |
| 15 | 19-Ульянівська                  | 1443         | 3040   | 8                       | $R_0, \% = 0,2451 + 0,0001 \cdot H$  | 0,1                           | 0,92 |
| 16 | 800-Шебелинська                 | 4214,2       | 6057   | 21                      | $R_0, \% = -2,1878 + 0,0007 \cdot H$ | 0,7                           | 0,97 |

### Висновки та перспективи подальших досліджень.

Органічна речовина є складовою частиною осадових гірських порід; особливості її фізичних властивостей можуть суттєво впливати на величини інтегральних петрофізичних характеристик. Знання петрофізичних констант ОР або керогену залежно від ступеня його катагенетичної зрілості вкрай важливе при геофізичній діагностиці сланцевих або нафтогазоматеринських товщ. Досліджено розподіл густини, питомого вмісту водню та інтервального часу розповсюдження поздовжньої акустичної хвилі у твердій частині керогену гірських порід нафтогазових товщ переважно сланцевого типу. Виведено рівняння, які дозволяють оцінити величину питомого водневмісту та інтервального часу в керогені за різних значень густини останнього. Показано, що густина керогену тісно пов'язана зі ступенем катагенетичної зрілості ОР. Отримані петрофізичні залежності дозволяють збільшити достовірність оцінки петрофізичних констант при геологічній інтерпретації даних промислової геофізики з метою визначення вмісту ОР у гірських породах. Перспективи продовження таких досліджень слід пов'язувати з вивченням гірських порід перспективних на нетрадиційні вуглеводні осадових товщ Дніпровсько-Донецької западини та Західного регіону України.

### Список використаних джерел

1. Heidari Z. Quantitative method for estimating total organic carbon and porosity, and for diagnosing mineral constituents from well logs in shale-gas

formations / Z. Heidari, C. Torres-Verdin, W. Preeg // SPWLA 52nd Annual Logging Symposium. – Colorado Springs, USA. – 2011, May 14–18. – P. 1–15.

2. Heidari Z. Estimation of Static and Dynamic Petrophysical Properties from Well Log sin Multi-Layer Formations : Dissertation by M. Sc., Faculty of the Graduate School of The University of Texas at Austin in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy / Z. Heidari. – The University of Texas at Austin. – 2011, August. – 237 p.

3. Mendelson J. D. Source rock characterization using multivariate analysis of log data / J. D. Mendelson, M. N. Toksoz : SPWLA 26th Annual Logging Symposium. – 1985.

4. Passey Q. A practical model for organic richness from porosity and resistivity logs / Q. Passey, S. Creaney, J. Kulla, F. Moretti, J. Stroud // AAPG Bulletin. – 1990, December. – № 74. – P. 1777–1794.

5. Passey Q. My source rock is now my shale-gas reservoir – Geologic and Petrophysical Characterization of Shale-Gas Reservoirs / Q. Passey, R. Bohacs, W. Klimentidis, S. Sinha // AAPG Annual convention. 2011, April 10–13, Houston, Texas, Search and Discovery Article # 90124, Web accessed 22 June 2012, [http://www.searchanddiscovery.com/documents/2012/80231passey/ndx\\_passey.pdf](http://www.searchanddiscovery.com/documents/2012/80231passey/ndx_passey.pdf).

6. Carpentier B. Diagrammes etroches meres estimation desteneurs en carbone organique parlamet hode Carbolog / B. Carpentier, G. Bessereau, A. Y. Huc // Revuede L'Institut Francais du Petrole. – 1989. – 44, 6. – P. 699–719.

7. Ciechanowska M. Ocena potencjalu macierzystosci perspektywicznych formacji ropogazonosnych metodami geofizyki wiertniczej / M. Ciechanowska, J. Kusmierek // Nafta-Gaz. – 1992. – № 11–12. – P. 269–277.

8. Carpienter D. Method for estimating the organic matter content of sedimentary rocks from data recorded in wells by well-logging probes. Patent 5, 126,939. – Int. Cl. G01V 1/00; G06F 15/48. – 30.06.92.

9. Passey Q. R., Petrophysical Evaluation of Hydrocarbon Pore-Thickness in Thinly Bedded Clastic Reservoirs / Q. R. Passey, K. E. Dahlberg, K. B. Sullivan, H. Yin, R. A. Brackett, Y. H. Xiao, A. G. Guzman-Garcia // AAPG Archie Series 1. – 2006. – P. 210 p.

Надійшла до редколегії 02.12.14

I. Karpenko, Postgraduate Student  
E-mail: sharanskiy@gmail.com,  
O. Karpenko, Dr. Sci. (Geol.), Professor  
E-mail: alexbrig@inbox.ru,  
Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv,  
90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022 Ukraine,  
G. Bashkurov, Cand. Sci. (Geol.-Min.), Senior Researcher  
E-mail: magnum669@gmail.com  
State Enterprise "Nauknaftogaz" NAK "Naftogaz of Ukraine",  
8 Kyivska Str., Vyshneve, 08132 Ukraine,

#### PETROPHYSICAL APPROACH TO DETERMINATION OF KEROGEN CONTENT IN ROCKS BASED ON WELL-LOGGING DATA

*The topicality of research into the physical properties of organic matter in rocks is largely associated with the prospects of a significant increase in shale gas production. Geophysical diagnostics, including assessment of kerogen content in shale-gas deposits, requires a thorough petrophysical analysis. Based on the recently published results of research into the physical properties of organic matter from the discovered US shale-gas fields, we have derived petrophysical relationships for quantitative calculations of kerogen content using well-logging data. The earlier developed system of interpretational equations contains petrophysical constants defining the individual characteristics of solid organic matter in rocks.*

*Mathematical models have been built to relate the interval time of the longitudinal acoustic wave and specific hydrogen content to the density and catagenetic maturity of organic matter. There have been suggested equations of the identified patterns of change in the value of vitrinite reflectance with the increasing depth of the deposits for various areas of the Dnieper-Donetsk Basin. The research results also include suggestions on specifying the petrophysical characteristics of organic matter taking into account its maturity and specific oil and gas strata or areas.*

*Keywords: shale gas, rock, petrophysical characteristics, kerogen, specific hydrogen content, density.*

И. Карпенко, соискатель  
E-mail: sharanskiy@gmail.com,  
А. Карпенко, д-р геол. наук, проф.  
E-mail: alexbrig@inbox.ru,  
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,  
УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина  
Г. Башкиров, канд. геол.-минерал. наук, ст. науч. сотр.  
E-mail: magnum669@gmail.com  
ГП "Науканафтогаз" НАК "Нафтогаз Украины",  
ул. Киевская, 8, г. Вишневое, Киево-Святошинский р-н, 08132, Украина

#### ПЕТРОФИЗИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ОЦЕНКИ СОДЕРЖАНИЯ КЕРОГЕНА В ГОРНЫХ ПОРОДАХ ПО ДАННЫМ ПРОМЫСЛОВОЙ ГЕОФИЗИКИ

*Важность изучения физических свойств органического вещества в горных породах в значительной степени связана с перспективами увеличения добычи сланцевого газа. Геофизическая диагностика, в том числе оценка содержания керогена в сланцеватых толщах, требует надлежащего петрофизического обеспечения. Выполненный анализ публикаций о физических свойствах органического вещества из известных месторождений сланцевого газа США позволил получить петрофизические зависимости для количественных расчетов содержания керогена по данным промысловой геофизики. Ранее нами была разработана система интерпретационных уравнений, в которых присутствуют петрофизические константы, определяющие отдельные характеристики твердой части органического вещества в горных породах. Разработаны математические модели, связывающие интервальное время продольной акустической волны, удельное водородосодержание с плотностью и катагенетической зрелостью органического вещества. Приведены уравнения выявленных закономерностей изменения величины, отражающей способности витринита с ростом глубины залегания отложений для различных площадей Днепровско-Донецкой впадины. На основе выполненных исследований указаны пути уточнения петрофизических характеристик органического вещества с учетом степени его зрелости и конкретных нефтегазоносных толщ или территорий.*

*Ключевые слова: сланцевый газ, горная порода, петрофизические характеристики, кероген, удельное содержание водорода, плотность.*

УДК 551.25:550.83(075.8)

Д. Безродний, канд. геол. наук, доц.  
E-mail: manific2@ukr.net,Л. Ткачов, асп.  
E-mail: lonia\_tkachov@bigmir.net,І. Безродна, канд. геол. наук  
E-mail: bezin3@ukr.netКиївський національний університет імені Тараса Шевченка,  
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна

## ВИВЧЕННЯ ХАРАКТЕРУ ПРУЖНОЇ АНІЗОТРОПІЇ ПЛАГІОМІГМАТИТІВ КРИВОРІЗЬКОЇ НАДГЛИБОКОЇ СВЕРДЛОВИНИ ЗА ДАНИМИ ПЕТРОАКУСТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

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

На основі власних петроакустичних досліджень вивчено вплив процесу зміни тектонічних режимів на акустичні властивості зразків керна плагіомігматитів Криворізької надглибокої свердловини.

Поставлені завдання вирішувалися за допомогою сейсмоакустичного інваріантно-поляризаційного методу, який дає можливість отримувати швидкості поздовжніх і поперечних хвиль у дев'яти напрямках. Авторами з високою точністю визначено швидкості пружних хвиль зразків керна плагіомігматитів Криворізької надглибокої свердловини (інтервал 3261–5296 м).

На основі інтерпретації петрофізичних досліджень отримано повний набір матриць ефективних акустичних і пружних постійних, а також детально досліджено характер акустичної і пружної анізотропії, визначено параметри анізотропії та типи текстур гірських порід.

Установлено, що більшості зразків притаманний аксіально-ромбічний тип симетрії текстури. Інтегральний коефіцієнт анізотропії загалом зменшується з глибиною від 2,6 до 15 %, виняток становить катаклазований плагіомігматит. Аналіз параметрів анізотропії показав, що в інтервалі глибин 3700–4620 м спостерігаються найбільші значення інтегрального коефіцієнта акустичної анізотропії, а параметр лінійності значно перевищує сланцюватість.

З урівноважених значень швидкостей були отримані стереопроєкції вказівних поверхонь швидкості розповсюдження поздовжньої хвилі, різниці між "швидкою" та "повільною" швидкостями поперечних хвиль і диференціального коефіцієнта пружної анізотропії.

Швидкості поздовжніх хвиль на стереопроєкціях характеризуються меншою анізотропністю, ніж інші представлені параметри. Різниця між "швидкою" та "повільною" швидкостями поперечних хвиль для деяких зразків (№ 16240 і 17725) майже 1 км/с, що вказує на наявність інтенсивних процесів розщеплення пружних хвиль у плагіомігматитах. Складний і строкатий характер пружної анізотропії спостерігається на стереопроєкціях диференціального коефіцієнта анізотропії, величина якого змінюється від 14 до 48 %. Кількість екстремумів на стереопроєкціях параметрів анізотропії свідчить про значну неоднорідність текстури плагіомігматитів і змінюється таким чином:  $V_p - 3 \div 6$ , для різниці швидкостей поперечних хвиль різної поляризації –  $6 \div 14$ ,  $A_d - 8 \div 11$ , що показує інформативність отриманих параметрів для вивчення анізотропності середовища. Для зразків № 17010 і 19148 існують мінімум два екстремуми, де характер розповсюдження пружних хвиль характеризує середовище як ізотропне, вони розташовані під кутом  $60^\circ$  до осі свердловини.

Результати досліджень свідчать про те, що породи розглянутого інтервалу свердловини перебували в умовах значного бокового стиснення. Тип симетрії акустичного тензора слабо впливає на зменшення коефіцієнта анізотропії, що пояснюється збільшенням тиску і відповідно густини з глибиною, що безпосередньо впливає на характер анізотропії порід у пластах.

Перспективи досліджень – у більш глибокому вивченні регіону зі складною геологічною будовою, який розкрила Криворізька надглибока свердловина, на основі комплексного петрографо-петрофізичного аналізу з урахуванням всебічної анізотропії.

**Ключові слова:** ефективні акустичні та пружні постійні, анізотропія, текстура, деформація.

**Вступ.** Вивчення акустичної анізотропії земних надр – одне з актуальних питань сучасної геологічної науки, що дозволяє розв'язувати різноманітні проблеми фізики Землі, регіональної геології та геофізики, зокрема структурної геології та тектонофізики. При цьому значну роль відіграє акустика текстур гірських порід – сучасна галузь знань тензорної петрофізики і сейсмоакустики, яка досліджує вплив на ефективні акустичні та пружні сталі впорядкованості структурних елементів текстур гірських порід з метою визначення функцій розподілу орієнтації мікротріщин і мінералів, а також вивчення природи геодинамічних процесів і палеореконструкції деформаційної історії формування структур земної кори.

**Мета роботи:** дослідити характер пружної анізотропії плагіомігматитів Криворізької надглибокої свердловини за даними власних петроакустичних досліджень інваріантно-поляризаційним методом.

**Стан проблеми.** Дослідження анізотропії пружних хвиль гірських порід – джерело цінної інформації про геодинамічні умови їхнього формування і важлива для з'ясування сейсмічної анізотропії земних надр. Наявність анізотропії сейсмічних хвиль свідчить про наявність у геологічному середовищі впорядкованостей різноманітної фізичної природи. Типи впорядкованості визначаються механізмом деформації геологічного середовища.

Факт існування акустичної анізотропії свідчить про наявність у реальному геологічному середовищі впорядкованості різної геологічної та фізичної природи [1–4,

6–9]. Достатньо очевидно, що всі без винятку параметри асимутальної акустичної анізотропії контролюються типом симетрії впорядкованості структурних елементів геологічного середовища. Це органічно впливає із принципу Неймана – Кюрі [6], згідно з яким симетрія структури впорядкованого геологічного середовища визначає і характер симетрії тензора пружних сталих. У свою чергу, пружна симетрія накладає жорсткі обмеження на всі параметри асимутальної анізотропії сейсмічних хвиль упорядкованого геологічного середовища.

Теорія пружної анізотропії наведена в наукових працях А. Лява, В. Фойгта, Ф. І. Федорова, Г. І. Петрашеня, К. С. Александрова, Г. Т. Продайводи та ін. [1–4, 6–9]. Для експериментального дослідження анізотропії пружних сталих гірських порід застосовують такі методи:

- метод ортогональних напрямків;
- метод сфери;
- акустополіаризаційний метод;
- метод особливих напрямків;
- інваріантно-поляризаційний метод.

Існуючі експериментальні ультразвукові методи вивчення пружної анізотропії гірських порід дають можливість виявити й оцінити пружну анізотропію, а залежно від обраного методу ще й визначати детальний просторовий розподіл швидкостей квазіповздовжніх і квазіпоперечних хвиль, число і просторову орієнтацію елементів пружної симетрії пружних середовищ. До основних недоліків зазначених вище методів слід віднести немо-

жливність кількісної оцінки регулярної й флуктуаційної складових ефективної фазової швидкості пружної хвилі, що забезпечує розрізнення ефектів анізотропії неоднорідностей та можливість визначення акустичної й пружної симетрії текстури гірських порід за відсутності апріорної інформації й довільної орієнтації лабораторної системи координат.

У реальних текстурах гірських порід порушуються головні принципи симетричного аналізу: ізорозмірність структурних елементів, а їхня періодичність носить статистичний характер. Якщо зняти обмеження, які накладаються на ідентичність структурних елементів текстури, і замінити її квазіідентичністю й умовою тривимірної регулярності, то тоді можна скористатися принципами узагальненої статистичної симетрії, сформульовані Дж. Берналом [5].

Згідно з цими принципами впорядкований стан будь-якої геосистеми можна описати, спираючись на такі вихідні положення статистичної симетрії:

а) розмірність упорядкованості, яка вимірюється просторовою розмірністю повторюваності структурних елементів;

б) ступінь регулярності текстури;

в) ступінь квазіідентичності структурних елементів.

Фундаментальні основи застосування принципів симетрії до вивчення текстурованого середовища закладено в роботах О. В. Шубникова та І. І. Шафрановського [10]. Під текстурою розуміють деяке однорідне тіло (відносно певних властивостей) негратчастої структури, яке складається з множини структурних елементів, що певним чином, згідно із законами симетрії, орієнтовані у просторі. Якщо структурні елементи розмножувати за допомогою операції довільних за величиною напрямків переносів, включаючи й нескінченно малі таким чином, щоб вони були розподілені у просторі з більш-менш однаковою щільністю, то можна одержати нескінченну кількість текстур і відповідних їм просторових точкових груп симетрії. Текстури гірських порід можна віднести до п'яти класів точкових груп кристалографічної та статистичної симетрії: сферичної, поперечно-ізотропної, ромбічної, моноклінної та триклінної.

Просторові точкові групи симетрії текстур, які включають у себе нескінченно малі переноси, мають осі симетрії нескінченного порядку і називаються граничними або неперервними точковими групами симетрії. Такі текстури не мають періодичної будови ані з одного із трьох вимірів простору.

На доцільність застосування просторових груп О. В. Шубникова і принципу П. Кюрі вперше звернув увагу І. І. Шафрановський [10]. Принципи симетрії використовувалися М. Патерсоном і Л. Вейсом для інтерпретації структурних діаграм деформованих гірських порід. Основні принципи класичної кристалографічної симетрії для аналізу текстур гірських порід можна застосовувати з певними обмеженнями. Унаслідок багатьох причин, які обумовлені умовами формування і гетерогенністю мінерального складу гірських порід і впливу постгенетичних перетворень, формування в них досконалої тривимірної регулярної структури практично неможливе.

Для вивчення пружної анізотропії текстур гірських порід і розв'язання пов'язаних з нею різних геологічних задач доцільно використовувати акустичний інваріантно-поляризаційний метод. Запропонований Г. Т. Продайворою [6–8], цей метод використовується для визначення пружних сталей і симетрії текстур гірських порід шляхом вимірювання фазових швидкостей різної поляризації в дев'яти напрямках кубомободокедра (куб зі скошеними під кутом  $45^\circ$  ребрами). Напрямки вимірювання фазових швидкостей пружних хвиль [6–8] унаслідок відсутності апріорної інформації

про симетрії текстури гірської породи не узгоджені з просторовим положенням елементів симетрії.

Макроскопічний об'єм зразка гірської породи має бути набагато більшим, ніж характерний розмір структурних неоднорідностей її текстури, а прозвучування зразка здійснюється ультразвуковими пружними хвилями, довжина яких також має бути більшою, ніж характерний розмір неоднорідностей гірської породи. При виконанні цих умов макроскопічний об'єм текстури гірської породи можна розглядати як деяке квазіоднорідне анізотропне геологічне середовище, що задовольняє умови довгохвильового наближення:  $V \gg L^3$ , де  $L$  – характерний розмір структурних неоднорідностей гірської породи, і  $\lambda \gg L_n$ , де  $\lambda$  – довжина хвилі.

Для вимірювання фазових швидкостей гірських порід застосовується імпульсно-фазовий ультразвуковий метод.

**Методика.** Для реалізації високої точності вимірювань, що забезпечується імпульсним методом, особлива увага приділялася врахуванню похибок, обумовлених вибором параметрів імпульсів. У першу чергу враховувався той факт, що в гірських породах ультразвукові хвилі розсіюються і поглинаються, і кожне з цих фізичних явищ залежить від частоти. При поширенні акустичного імпульсу гауссової форми в середовищі із загасанням його ефективна частота заповнення, що відповідає максимуму спектра, не залишається постійною і зміщується в бік низьких частот.

У діапазоні ультразвукових частот від 0,5 до 5 МГц для більшості гірських порід характерна квадратична залежність загасання від частоти. Поширюючись у гірських породах, такий імпульс отримує спотворення, які будуть тим більші, чим більша ширина його спектра. У випадку прямокутного акустичного імпульсу, ширина його спектра обернено пропорційна тривалості.

Для досягнення високої точності при вимірюванні фазових швидкостей ультразвукових хвиль у зразках гірських порід необхідно враховувати умови, що включають одна одну. З одного боку, для досягнення високої точності вимірювання часу поширення хвилі у зразку доцільно було б проводити вимірювання його на максимально можливій частоті, але з іншого, – високочастотні коливання швидше загасають, що викликає спотворення частотного спектра та форми імпульсу, і також проявляється частотна дисперсія швидкості.

При дослідженнях у зразках, що сильно поглинають, акустичний зонduючий імпульс повинен мати добре виражений максимум спектральної щільності на несучій частоті й задовольняти умову монохроматичності стаціонарного спектра. Його тривалість має бути такою, щоб забезпечити стаціонарний режим коливань в акустичному імпульсі, який поширюється у зразку гірської породи. Синфазне зіставлення сигналів здійснюється в стаціонарній області імпульсного сигналу.

У ході досліджень було використано установку "Керн-4" (рис. 1), розроблену в Київському національному університеті імені Тараса Шевченка, яка оснащена пакетом програмного забезпечення для стабільної роботи в середовищі Windows. Прилад підключається до комп'ютера через USB-інтерфейс. "Керн-4" обладнаний двома портами виходу сигналу (для підключення випромінювача) і одним портом входу (для підключення приймача). Управління приладом повністю автоматизоване і здійснюється через програмний інтерфейс на підключеному до нього комп'ютері. Програма дає можливість вибирати частоту сигналу, що генерується вбудованим цифровим генератором імпульсів, його амплітуду і підсилення на вході. Також у ній можна задавати кількість генерованих імпульсів – від одного до декіль-

кох ("пачками"). Перед запуском установки в програмі в полі "Частота, кГц" обов'язково вводиться частота, на яку конструктивно розрахований випромінювач (резонансна частота).

Під час досліджень використовувалися п'єзокерамічні випромінювачі й приймачі (як на поздовжні, так і на поперечні хвилі) частотою 1000 кГц (для визначення  $V_s$ ) і 1110 кГц (для визначення  $V_p$ ) відповідно. У затиски між випромінювачем і приймачем акустичного сигналу ставиться зразок досліджуваної гірської породи (рис. 1), який досліджується в дев'яти напрямках для кожного типу хвилі (поздовжньої, поперечної "швидкої" і поперечної "повільної"). Для вимірювання "швидкої" й "повільної" хвиль поперечної поляризації та визначення напрямків їхньої поляризації [3] спочатку використовувалися імпульси малої тривалості. Це допомогло уникнути інтенсивної інтерференції між цими хвилями при збудженні п'єзоперетворювача тривалими імпульсами. Для окремої реєстрації "швидкої" й "повільної" поперечних мод утримувач зразка оснащений теодолітним пристроєм. Він забезпечує співвісне обертання і надійну реєстрацію кутів повороту зразка відносно фіксованих, взаємно-ортогональних, площин поляризації випромінювача і приймача.



Рис. 1. Комплекс акустичних досліджень "KERN-4"

Для побудови стереопроєкцій, а також для визначення коефіцієнтів сланцюватості, лінійності й типу симетрії текстури зразків гірських порід використовувала-

ся програма "KERN\_DP" (автор – Ю. А. Онанко) (рис. 2), яка дає можливість як у ручному, так і в автоматичному режимі проводити обробку даних. У програмі присутній також зв'язок з базою даних зразків, виміряних раніше.

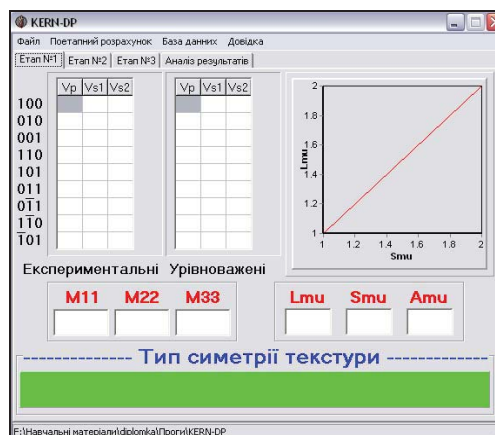


Рис. 2. Фрагмент програми "KERN\_DP"

Обробка даних ґрунтується на розв'язанні оберненої задачі шляхом інверсії азимутальної залежності регулярних складових акустичного і пружного тензорів [6].

Обробка даних проходить у три етапи:

1) Визначення інтегрального коефіцієнта акустичної анізотропії, сланцюватості та лінійності, а також типу симетрії текстури;

2) Розрахунок пружних постійних, акустичного тензора та визначення акустичної текстури зразка;

3) Побудова стереопроєкцій параметрів азимутальної анізотропії.

**Результати.** Використовуючи інваріантно-поляризаційний метод на новітній швидкодіючій апаратурі, було проведено численні виміри фазових поздовжніх і квазіпоперечних швидкостей, на основі яких за допомогою спеціального програмного забезпечення визначено параметри анізотропії порід колекції зразків плагіомігматитів керна КНГС-8 з інтервалу 3261–5296 м.

У табл. 1 та рис. 3 наведено результати інтерпретації петроакустичних даних вивченої колекції зразків з керна КНГС-8.

Таблиця 1

Власні значення та їхні довірчі межі при 5 % рівні значущості (в  $10^6 \text{ м}^2 \text{ с}^{-2}$ ) – у чисельнику та їхні власні напрямки – у знаменнику детермінованої складової акустичного тензора зразка гірської породи

| Номери зразків | Глибина відбору зразків | Літологія                     | $\frac{\langle \mu_{11} \rangle \pm \Delta}{l^{(1)}, m^{(1)}, n^{(1)}}$ | $\frac{\langle \mu_{11} \rangle \pm \Delta}{l^{(1)}, m^{(1)}, n^{(1)}}$ | $\frac{\langle \mu_{11} \rangle \pm \Delta}{l^{(1)}, m^{(1)}, n^{(1)}}$ | $L_\mu$ | $S_\mu$ | Інтегральний коефіцієнт анізотропії $A_\mu, \%$ | Симетрія акустичного тензора |
|----------------|-------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|---------|---------|-------------------------------------------------|------------------------------|
| 13313          | 3261                    | Плагіомігматит катаклазований | 55,63±0,08<br>0,713; -0,006; 0,70                                       | 51,73±0,07<br>0,13; 0,984; -0,122                                       | 49,05±0,08<br>-0,689; 0,176; 0,703                                      | 1,08    | 1,05    | 5,2                                             | Аксiальна mmm                |
| 16240          | 3702                    | Плагіомігматит                | 34,856±0,3625<br>-0,21; -0,21; -0,95                                    | 27,873±0,3927<br>-0,63; 0,77; -0,03                                     | 23,844±0,3995<br>0,74; 0,598; -0,29                                     | 1,251   | 1,169   | 15,57                                           | Аксiальна mmm                |
| 17010          | 3995                    | Плагіомігматит                | 63,050±0,0431<br>-0,21; 0,08; 0,98                                      | 62,770±0,0482<br>-0,68; 0,71; -0,20                                     | 51,682±0,0479<br>-0,71; -0,7; -0,096                                    | 1,004   | 1,215   | 8,91                                            | Планальна mmm                |
| 17725          | 4243                    | Плагіомігматит                | 41,159±0,1068<br>-0,12; 0,93; -0,35                                     | 33,709±0,1061<br>0,05; -0,35; -0,94                                     | 29,908±0,1007<br>-0,99; -0,127; 0,003                                   | 1,221   | 1,127   | 13,26                                           | Аксiальна mmm                |
| 19148          | 4617                    | Плагіомігматит                | 39,032±0,0545<br>0,9; -0,33; -0,283                                     | 34,637±0,0585<br>0,43; 0,6; 0,674                                       | 32,256±0,0569<br>-0,056; -0,729; 0,68                                   | 1,127   | 1,074   | 7,92                                            | Аксiальна mmm                |
| 20540          | 5232                    | Плагіомігматит                | 59,83±0,18<br>0,9; -0,44; 0,57                                          | 58,86±0,20<br>0,4; 0,74; -0,54                                          | 62,50±0,19<br>-0,19; -0,507; 0,84                                       | 1,04    | 1,02    | 2,6                                             | Аксiальна mmm                |
| 20604          | 5296                    | Плагіомігматит                | 59,963±0,0670<br>0,49; -0,43; 0,76                                      | 57,403±0,0641<br>0,04; -0,86; -0,52                                     | 54,550±0,0641<br>0,871; 0,285; -0,401                                   | 1,045   | 1,052   | 3,86                                            | Планальна mmm                |

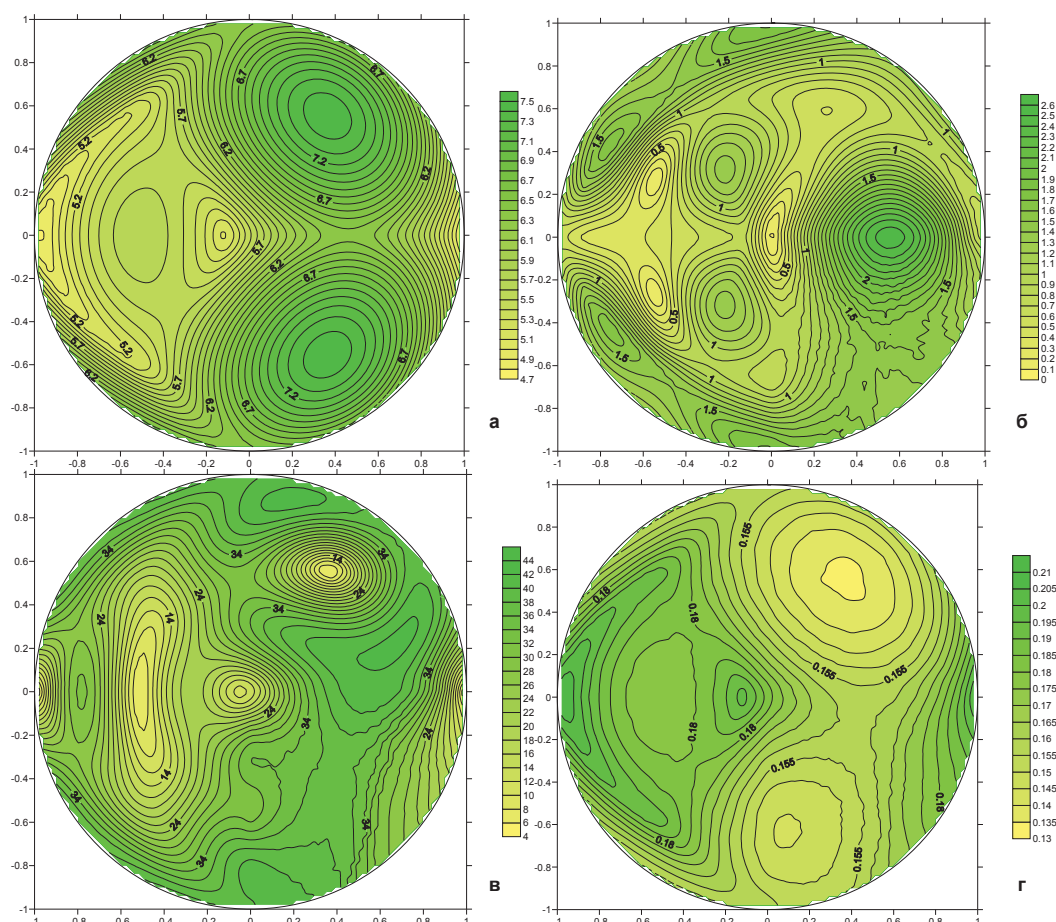


Рис. 3. Указівні поверхні індикатрис різниці між "швидкою" і "повільною" поперечними хвилями: а) 16240, б) 19148, в) 17725, г) 20604

Аналіз швидкостей розповсюдження пружних хвиль у плагіомігматитах підтвердив існування інтенсивної азимутальної анізотропії фазових швидкостей пружних хвиль різної поляризації. Найбільші значення з поздовжніх швидкостей показав зразок амфіболіту (№ 16589). Проте просте зіставлення величин швидкостей не дало об'єктивної кількісної оцінки анізотропії текстури плагіомігматитів, що спершу обмежило можливість надання відповіді про її характер і природу.

Реальна оцінка анізотропії була здійснена при визначенні повного набору матриць акустичних і пружних сталих. При цьому застосування операції врівноваження до експериментальних значень фазових швидкостей пружних хвиль дозволило істотно усунути вплив флуктуаційної складової.

Класифікацію текстур плагіомігматитів (табл. 1) на вищу, середню й нижню категорії здійснено за симетрією акустичного тензора з урахуванням довірчих меж знайдених власних значень. Установлено, що для всіх зразків виконується умова  $\langle \mu_{11} \rangle \neq \langle \mu_{22} \rangle \neq \langle \mu_{33} \rangle$ , тобто їм притаманна ромбічна симетрія (mmm).

Більшість із плагіомігматитів має аксіально-ромбічний тип симетрії текстури (табл. 1), хоч один зразок (№ 17010) з лінійною слабосмугастою текстурою можна умовно віднести до поперечно-ізотропної симетрії. Інтегральний коефіцієнт анізотропії ( $A_{\mu}$ ) загалом зменшується з глибиною від 2,6 до 15 %, виняток становить катаклований плагіомігматит (зразок № 13313), коефіцієнт анізотропії якого 5,2 %. Аналіз параметрів акустичного еліпсоїда показав, що в інтервалі глибин 3700–4620 м спостерігаються найбільші значення інтегрального коефіцієнта акустичної анізотропії й параметр  $L_{\mu}$  значно перевищує  $S_{\mu}$  (за винятком зразка № 17010). Це свідчить

про те, що породи розглянутого інтервалу свердловини перебували в умовах значного бокового стиснення. Низькі значення  $A_{\mu}$ ,  $L_{\mu}$  та  $S_{\mu}$  у призабійній частині свердловини пояснюються зоною інтенсивної тріщинуватості. Слід зазначити, що тип симетрії акустичного тензора не дуже впливає на процес "зменшення" коефіцієнта. Це пояснюється збільшенням тиску і відповідно густини з глибиною, що безпосередньо впливає на характер анізотропії порід у пластах.

Для всебічного аналізу пружної анізотропії плагіомігматитів з урівноважених значень швидкостей було отримано за методикою інваріантно-поляризаційного методу повні набори матриць пружних сталих, що, у свою чергу, дало можливість побудувати стереопроєкції вказівних поверхонь швидкості розповсюдження поздовжньої хвилі, різниці між "швидкою" та "повільною" поперечними хвилями, диференціального коефіцієнта пружної анізотропії та кута відхилення вектора пружних зміщень від напрямку хвильової нормалі (рис. 3).

Швидкості поздовжніх хвиль на стереопроєкціях характеризуються меншою анізотропністю, ніж інші представлені параметри. Найбільш істотні коливання швидкості спостерігаються для зразка № 17725 (від 3,85 до 5,35 км/с), а найменші коливання характерні для зразка № 19148 (від 4,3 до 4,95 км/с). Кількість екстремумів збільшується від трьох (для зразків № 16240 і 20604) до шести для зразка № 17725. Ці напрямки збігаються з напрямками розповсюдження хвиль поздовжньої поляризації.

Розподіл різниці між "швидкою" та "повільною" поперечними хвилями наведено на рис. 3, а–г. Як видно з рисунків, кількість екстремумів змінюються від 6 для зразка № 20604 до 14 для зразка № 19148, що свідчить про значну неоднорідність текстури плагіомігматитів. Сама різни-

ця для деяких зразків (№ 16240 і 17725) сягає майже 1 км/с, що вказує на наявність інтенсивних процесів розщеплення пружних хвиль, а отже, і незначну анізотропність плагіомігматитів. Причому навіть для найменш анізотропного зразка № 20540 цей параметр досягає 0,4 км/с.

Складний і строкатий характер пружної анізотропії спостерігається на стереопроєкціях і диференціального коефіцієнта анізотропії ( $A_d$ ). Величина цього параметра змінюється від 14 % для зразка № 19148 до майже 48 % для зразка № 16240. Кількість екстремумів змінюється від 8 (для зразка № 17010) до 11 (для зразка № 19148), що добре корелює для цих зразків з відповідними значеннями інтегрального коефіцієнта акустичної анізотропії. Для зразків № 17010 і 19148 існують мінімум два екстремуми, де значення  $A_d$  мало відрізняється від нуля, вони розташовані під кутом  $60^\circ$  до осі  $X_3$ . У цих напрямках характер розповсюдження пружних хвиль характеризує це середовище як ізотропне.

Пружна текстура всіх досліджених плагіомігматитів – триклінна. Текстури вищих порядків не виявлено.

Висновки. Унікальність даної методики вимірювання дозволяє зі значною точністю вимірювати швидкості проходження через зразок як поздовжніх, так і поперечних хвиль з різною частотою, яка задається програмно. Інваріантно-поляризаційний метод, переведений в автоматичний режим обробки даних результатів вимірювань швидкостей акустичних хвиль, показує надійні результати обробки, інтерпретації та моделювання. Використання сучасного обладнання та швидкодіючого програмного забезпечення дає змогу обчислювати результати дослідження колекції зразків, створювати бази даних зі збереженими вимірними даними параметрів анізотропії та типів текстур.

За результатами дослідження колекції зразків керна з інтервалу 3261–5296 м свердловини КНГС-8 переважна частина порід має аксіальний тип симетрії текстури. Також на відміну від порід з планальним типом симетрії текстури породи з аксіальним мають більший інтегральний коефіцієнт анізотропії  $A_d$ . Це може пояснюватись іншою величиною та орієнтацією зерен у породі, на що вплинули процеси стискання породи в певному напрямку, коли вона була ще у вигляді залеглого під певним кутом пласта.

Швидкості поздовжніх хвиль на стереопроєкціях характеризуються меншою анізотропністю, ніж інші представлені параметри. Різниця між "швидкою" та "повільною" поперечними хвилями для деяких зразків (№ 16240 і 17725) сягає майже 1 км/с, що вказує на наявність інтенсивних процесів розщеплення пружних хвиль у плагіомігматитах. Складний і строкатий характер пружної анізотропії спостерігається на стереопроєкціях диференціального коефіцієнта анізотропії, величина якого змінюється від 14 до 48 %. Кількість екстремумів на стереопроєкціях параметрів анізотропії свідчить про значну неоднорідність текстури плагіомігматитів і змінюється таким чином:  $V_p$  – 3÷6, для різниці швидкостей поперечних хвиль різної поляризації – 6÷14,  $A_d$  – 8÷11, що показує інформативність отриманих параметрів для вивчення анізотропності середовища. Для зразків № 17010 та 19148 існують мінімум два екстремуми, де характер розповсюдження пружних хвиль

характеризує середовище як ізотропне, вони розташовані під кутом  $60^\circ$  до осі свердловини.

Проведені дослідження показали ступінь анізотропності вивченої колекції плагіогранітів Криворіжжя та її зв'язок з тектонічними перетвореннями в регіоні. Перспективи досліджень авторами передбачаються в більш глибокому вивченні регіону зі складною геологічною будовою, який розкриває Криворізька надглибока свердловина, на основі комплексного петрографо-петрофізичного аналізу з урахуванням всебічної анізотропії.

#### Список використаних джерел

1. Thomsen L. Weak elastic anisotropy / L. Thomsen // *Geophysics*. – 1986. – 51, 10. – 1954–1966.
2. Анизотропия упругих свойств горных пород / К. С. Александров, Т. В. Рыжова, Б. П. Беликов, Л. А. Шабанова // *Изв. АН СССР*. – 1968. – № 6. – С. 17–28.
3. Александров К.С., Рыжова Т.В., Беликов Б.П., Шабанова Л.А., (1968). Анизотропия упругих свойств горных пород. *Izv. AN SSSR*, 6, 17-28. (In Russian)
4. Безродний Д. А. Математичне моделювання впливу кристалографічної орієнтації мінералів та мікротріщин на параметри пружної і акустичної анізотропії / Д. А. Безродний, І. М. Безродна // *Вісн. Київ. нац. ун-ту ім. Т. Г. Шевченка. Сер. Геологія*. – 2008. – № 45. – С. 49–52.
5. Bezrodnyj D.A., Bezrodna I.M., (2008). Matematichne modelyuvannya vplyvu kristalografichnoy orientatsiy mineraliv ta mikrotrishhin na parametri pruzhnoy i akustichnoy anizotropiy. *Visnyk Kyivsk. un-tu: Geologiya*, 45, 49-52 (In Ukrainian).
6. Безродний Д. А., Математичне моделювання тектонофазій мезозони на основі акустичного аналізу метаморфічних порід Кривбасу / Д. А. Безродний // *Вісн. Київ. нац. ун-ту ім. Т. Г. Шевченка. Сер. Геологія*. – 2008. – № 44. – С. 13–16.
7. Bezrodnyj D.A., (2008). Matematichne modelyuvannya tektonofaziy mezozoni na osnovi akustichnogo analizu metamorfichnix porid krivbasu. *Visnyk Kyivsk. un-tu: Geologiya*, 44, 13–16. (In Ukrainian)
8. Бернал Дж. Д. Поля обхвата обобщенной кристаллографии / Дж. Д. Бернал, С. Х. Каролайл // *Кристаллография*. – 1968. – № 13. – С. 927–951.
9. Bernal Dzh. D., Karolajl S.X., (1968). Polya obxvata obobshhennoj kristallografiy. *Kristallografiya*, 13, 927–951. (In Russian)
10. Акустичний текстурний аналіз метаморфічних порід Криворіжжя : монографія / Г. Т. Продайвода, С. А. Вижва, Д. А. Безродний, І. М. Безродна. – К., 2011. – 368 с.
11. Prodajvoda G.T., Vizhva S.A., Bezrodnyj D.A., Bezrodna I.M., (2011). Akustichnij teksturnij analiz metamorfichnix porid krivorizhzhya: monogr., Kyiv, 368. (In Ukrainian)
12. Пружна симетрія і параметри анізотропії метаморфічних порід Криворізької надглибокої свердловини / Г. Т. Продайвода, Д. А. Безродний, І. М. Безродна, О. М. Кожан // *Вісн. Київ. нац. ун-ту ім. Т. Г. Шевченка. Сер. Геологія*. – 2001. – № 24. – С. 91–95.
13. Prodajvoda G.T., Bezrodnyj D.A., Bezrodna I.M., Kozhan O.M., (2001) Pruzhna simetriya i parametri anizotropiy metamorfichnix porid Krivorizkoj nadglubokoї sverdlovini. *Visnyk Kyivsk. un-tu: Geologiya*, 24, 91-95 (In Ukrainian).
14. Продайвода Г. Т. Математичне моделювання анізотропії ефективних акустичних і пружних постійних тектонічно-деформованих метаморфічних гірських порід / Г. Т. Продайвода, Д. А. Безродний, Т. Г. Продайвода // *Вісн. Київ. нац. ун-ту ім. Т. Г. Шевченка. Сер. Геологія*. – 2003. – № 26. – С. 20–24.
15. Prodajvoda G.T., Bezrodnyj D.A., Prodajvoda T.G., (2003). Matematichne modelyuvannya anizotropiy effektivnix akustichnix i pruzhnikh postijnikh tektonichno-deformovanih metamorfichnix girs'kix porid. *Visn. Kyiv. un-tu: Geologiya*, 26, 20–24. (In Ukrainian)
16. Федоров Ф. И. Теория упругих волн в кристаллах / Ф. И. Федоров. – М.: Наука, 1965. – С. 384.
17. Fedorov F.I., (1965). Teoriya uprugikh voln v kristalakh. *Nauka*, 384. (In Russian)
18. Шафрановский И. И. Группы симметрии в структурной петрологии / И. И. Шафрановский // *Зап. Всесоюз. минерал. об-ва*. – 1956. – № 85. – С. 491–497.
19. Shafranovskij I.I., (1956). Gruppy simmetrii v strukturnoj petrologii. *Zap. Vsesoyuz. mineralog. ob-va*, 85, 4, 491–497 (In Russian).

Надійшла до редколегії 27.09.14

D. Bezrodnyi, Cand. Sci. (Geol.), Assoc. Prof.

E-mail: manific2@ukr.net,

L. Tkachov, Postgraduate Student

E-mail: lonia\_tkachov@bigmir.net,

I. Bezrodna, Cand. Sci. (Geol.).

E-mail: bezin3@ukr.net,

Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv,

90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022 Ukraine

## ELASTIC ANISOTROPY OF PLAGIO-MIGMATITE CORE SAMPLES FROM KRYVORIZ'KA ULTRADEEP WELL: A PETROACOUSTIC INVESTIGATION

*This paper investigates the influence of changes in the tectonic regime on the acoustic properties of plagio-migmatite samples from the Kryvoriz'ka ultra-deep well based on petroacoustic analysis.*

*The seismic-polarization method was used in the research to obtain velocities of longitudinal and transverse waves in nine directions. The velocity of plagio-migmatite core samples from Kryvoriz'ka ultra-deep well an interval of 3,261–5,296 m have been defined with high accuracy.*

*Based on petrophysical data, the authors obtained a full set of effective acoustic and elastic constants matrices and determined the parameters of anisotropy and rock texture types.*

*It has been found that most of the samples exhibit an axial-rhombic type of texture symmetry. The integral anisotropy coefficient generally decreases with depth from 2,6 to 15 %, with the exception of cataclased plagio-migmatite. Analysis of anisotropy parameters showed that the depth interval 3,700–4,620 m is associated with the highest values of the integral coefficient of acoustic anisotropy, with the linear parameter significantly exceeding schistosity. From balanced velocity values there were obtained stereo-projections of directing surfaces of longitudinal wave propagation velocity, differences between "fast" and "slow" velocities of transverse waves and the differential coefficient of elastic anisotropy.*

*Velocities of longitudinal waves at stereo-projections show less anisotropy than the other parameters. The difference between "fast" and "slow" transverse wave velocities for some samples (#16240 and #17725) is nearly 1 km/s, which suggests intensive elastic wave splitting in plagio-migmatites. The complexity and heterogeneity of elastic anisotropy is observed on stereo-projections of the differential anisotropy coefficient whose value ranges from 14 to 48 %. The number of extreme points on the stereo-projections of anisotropy parameters indicates significant heterogeneity of plagio-migmatite texture and changes as follows:  $V_p - 3,6$ , for the difference of transverse waves with different polarization – 6,14,  $A_d - 8,11$ . The parameters obtained are highly informative for research on the anisotropy of the medium. For samples #17010 and #19148 there are at least two extreme points where the nature of elastic wave propagation shows the medium to be isotropic, these are located at a 60° angle to the well axis.*

*Research results show that the rocks from the well interval in question have been under high lateral compression. The type of acoustic tensor symmetry has little effect on reducing the anisotropy coefficient, which can be accounted for by an increase in pressure, and hence in density, with depth, the latter directly affecting the nature of rock anisotropy in the strata.*

*Further research into the complex geological profile revealed by the Kryvoriz'ka ultra-deep well should be based on a thorough petrographical and petrophysical analysis, with multidirectional anisotropy taken into account.*

**Keywords:** effective acoustic and elastic constants, anisotropy, texture, deformation.

Д. Безродний, канд. геол. наук, доц.

E-mail: manific2@ukr.net,

Л. Ткачов, асп.

E-mail: lonia\_tkachov@bigmir.net,

І. Безродна, канд. геол. наук

E-mail: bezin3@ukr.net,

Київський національний університет імені Тараса Шевченка,

УНІ "Інститут геології", ул. Васильківська, 90, г. Київ, 03022, Україна

## ИЗУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРА УПРУГОЙ АНИЗОТРОПИИ ПЛАГИОМИГМАТИТОВ КРИВОРОЖСКОЙ СВЕРХГЛУБИННОЙ СКВАЖИНЫ ПО ДАННЫМ ПЕТРОАКУСТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

*На основе собственных петроакустических исследований изучено влияние процесса изменения тектонических режимов акустических свойств образцов керна плагиомигматитов Криворожской сверхглубокой скважины.*

*Поставленные задачи решались с помощью сейсмоакустического инвариантно-поляризационного метода, который позволяет получать скорости продольных и поперечных волн в девяти направлениях. Авторами с высокой точностью определены скорости упругих волн образцов керна плагиомигматитов Криворожской сверхглубокой скважины (интервал 3261–5296 м).*

*На основе интерпретации петрофизических исследований получен полный набор матриц эффективных акустических и упругих постоянных, а также детально исследован характер акустической и упругой анизотропий, определены параметры анизотропии и типы текстур горных пород.*

*Установлено, что большинству образцов присущ аксиально-ромбический тип симметрии текстуры. Интегральный коэффициент анизотропии в целом уменьшается с глубиной от 2,6 до 15 %, исключение составляет катаклазированный плагиомигматит. Анализ параметров анизотропии показал, что в интервале глубин 3700–4620 м наблюдаются наибольшие значения интегрального коэффициента акустической анизотропии, а параметр линейности значительно превышает сланцеватость.*

*Из уравновешенных значений скоростей были получены стереопроекции указательных поверхностей скорости распространения продольной волны, разницы между "быстрой" и "медленной" скоростями поперечных волн и дифференциальным коэффициентом упругой анизотропии.*

*Скорости продольных волн на стереопроециях характеризуются меньшей анизотропностью, чем другие представленные параметры. Разница между "быстрой" и "медленной" скоростями поперечных волн для некоторых образцов (№ 16240 и 17725) достигает почти 1 км/с, что указывает на наличие интенсивных процессов расщепления упругих волн в плагиомигматитах. Сложный и неоднородный характер упругой анизотропии наблюдается на стереопроециях дифференциального коэффициента анизотропии, величина которого изменяется от 14 до 48 %. Количество экстремумов на стереопроециях параметров анизотропии свидетельствует о значительной неоднородности текстуры плагиомигматитов и изменяется следующим образом:  $V_p - 3,6$ , для разности скоростей поперечных волн различной поляризации – 6,14,  $A_d - 8,11$ , а также показывает информативность полученных параметров для изучения анизотропности среды. Для образцов № 17010 и 19148 существуют минимум два экстремума, где характер распространения упругих волн характеризует среду как изотропную, они расположены под углом 60° к оси скважины.*

*Результаты исследований свидетельствуют о том, что породы рассматриваемого интервала скважины находились в условиях значительного бокового сжатия. Тип симметрии акустического тензора слабо влияет на уменьшение коэффициента анизотропии, что объясняется увеличением давления и соответственно плотности с глубиной, что непосредственно влияет на характер анизотропии пород в пластах.*

*Перспективы исследований – в более глубоком изучении региона со сложным геологическим строением, вскрытого Криворожской сверхглубокой скважиной, на основе комплексного петрографо-петрофизического анализа с учетом всесторонней анизотропии.*

**Ключевые слова:** эффективные акустические и упругие постоянные, анизотропия, текстура, деформация.

УДК 550.382.3

О. Меньшов, канд. геол. наук, докторант  
E-mail: pova@list.ru,О. Карпенко, д-р геол. наук, проф.  
E-mail: alexbrig@inbox.ru,Київський національний університет імені Тараса Шевченка,  
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна

## МАГНІТНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИ ПОШУКАХ ПОКЛАДІВ ВУГЛЕВОДНІВ НЕТРАДИЦІЙНОГО ТИПУ: ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

*(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром фіз.-мат. наук П. О. Міненком)*

Розглядаються проблеми, пов'язані з пошуками та видобуванням вуглеводнів нетрадиційного типу. Поняття нетрадиційного газу та нафти включає вуглеводні в ущільнених породах, метан вугільних пластів, сланцевий газ і нафту. Досліджується місце магнітних методів у комплексі геологорозвідувальних робіт і геофізичних методів досліджень нафтогазоперспективних територій з покладами нетрадиційного типу. Виявлено, що для магнітного методу не має значення генезис нафти та газу, адже магнетизм природних об'єктів може виступати як прямопошуковий метод. Водночас аномальний магнітний сигнал від ґрунтів часто може бути зіставним за інтенсивністю та амплітудою з магнітним сигналом від власне покладів вуглеводнів. Досліджується питання розробки технологій прямих пошуків нафти та газу на основі зміни під впливом вуглеводнів магнітних властивостей відповідних літологічних формацій на всьому шляху міграції флюїдного потоку з нижніх геологічних шарів до верхньої частини геологічного розрізу та ґрунтового покриву. На основі наведених результатів підтверджено зв'язок між покладами вуглеводнів і змінами вмісту магнітних мінералів під впливом міграції вуглеводневих флюїдів до верхніх частин геологічного розрізу та ґрунтів. Основними досліджуваними параметрами стають магнітна сприйнятливість, частотно залежна магнітна сприйнятливість, ізотермальна залишкова намагніченість, намагніченості насичення, параметри термоманітного аналізу.

Крім того, під час гідророзриву, який є невід'ємною частиною комплексу робіт при видобуванні вуглеводнів з нетрадиційних покладів, у навоколишнє середовище потрапляє ряд небезпечних для людини хімічних реагентів, вторинні нафтопродукти, піщані фракції. Також небезпеку несе процес транспортування видобутих вуглеводнів і пов'язані з цим технологічні та аварійні витрати речовин – забруднювачів верхньої частини геологічного розрізу, ґрунтових вод, ґрунтових покривів. Виявлено, що при гідророзриві пластів і транспортуванні вуглеводнів відбувається забруднення навоколишнього середовища, яке веде до формування та привнесення вторинних магнітних речовин, які, у свою чергу, фіксуються експресними, високоефективними та низьковартісними магнітними методами.

**Ключові слова:** магнітні методи, вуглеводні, сланцевий газ, нафта, магнетизм ґрунтів, магнітна сприйнятливість.

**Вступ.** Серед пріоритетних напрямів розвитку економіки України в контексті подій, які розгорнулися в 2014 р., усе гостріше постає завдання розбудови та оптимізації паливно-енергетичного сектора. При цьому йдеться про налагодження оптимальної схеми функціонування власного ринку вуглеводнів. З цією метою проводиться довивчення вже існуючих родовищ нафти та газу, переінтерпретація матеріалів і перерахунок запасів покладів, досліджуються шляхи розробки нових типів родовищ (у тому числі видобування так званих вуглеводнів з ущільнених порід, сланцевого газу, нафти). Також важливим елементом досліджень є розробка нових низьковартісних, експресних та ефективних технологій власне пошуків вуглеводнів.

Перспективним, але водночас і дискусійним аспектом розвитку паливно-енергетичної промисловості України останнім часом стало завдання розробки нетрадиційних покладів вуглеводнів. Найчастіше йдеться про вуглеводні ущільнених порід-колекторів, які в деяких випадках узагальнено називають сланцевим газом.

**Постановка задачі.** Історія видобування газу з ущільнених порід колекторів розпочалася в 70-ті рр. минулого сторіччя в Північній Америці [5]. Хоч, за повідомленнями інших науковців, відповідні дослідження проводилися й значно раніше і в різні періоди розвитку характеризувалися неоднозначністю практичної значимості [13]. США стали законодавцем моди та основною країною – рушієм створення оптимальних технологій пошуків і розробки родовищ сланцевого газу та інших нетрадиційних типів вуглеводнів. Поняття нетрадиційного газу включає газ в ущільнених породах, метан вугільних пластів, сланцевий газ [10]. Але фактично не існує загальноприйнятого визначення поняття "газ ущільнених порід" (tight gas). Звичайним критерієм є пористість газонасної структури менше 10 % і проникність у місці залягання, менша за 0,1 мД, а також необхідність стимулювання свердловини за допомогою гідророзриву.

Останніми роками розглядається все ширше коло теоретичних питань стосовно процесу видобутку, до-

сліджуються різні моделі дифузійних процесів у мережі свердловин, тріщин, процесів гідророзривів [2]. Однією з найгостріших є проблема наслідків гідророзриву порід, закачування в товщі флюїду, що в ряді випадків насичений небезпечними для людини й довкілля хімічними сполуками. Відповідні реагенти справляють негативний і небезпечний вплив на людину, тварин, рослинність і **ґрунтовий покрив**. Постає загроза забруднення ґрунтів і цілих ландшафтів, яке позначається на загальному екологічному зараженні територій, деградації продуктивних сільськогосподарських земель, веде до виникнення ерозійних процесів.

Переходячи до питання пошуків вуглеводнів за допомогою магнітометрії та магнетизму речовини, зауважимо, що для магнітного методу не має значення генезис нафти і газу, адже використання магнетизму природних об'єктів може бути прямопошуковим методом [12]. Основне завдання при цьому – не розвідка відповідних структур, пасток тощо, а вимірювання зміни магнітних характеристик, що відбуваються в гірській породі або ґрунтовому покриві під впливом дії флюїдів вуглеводневого походження. Отже, якщо такий слід від газу чи нафти ущільнених порід існує, тоді стає можливим використання магнітометрії. Водночас слід враховувати й дослідження низькоамплітудних магнітних аномалій, які можуть генеруватися, наприклад, ґрунтовим покривом. Дана інформація необхідна для розбраковки магнітного сигналу ґрунтів і спричиненого іншими геологічними об'єктами.

Із зазначеного вище випливає також й інша можливість залучення магнітних досліджень ґрунтового покриву до розробки родовищ сланцевого газу. Це – екологічний моніторинг забруднення ґрунтового покриву та вивчення ступеня зниження родючості аграрних угідь. Магнітні методи є ефективною, дешевою та експресною технологією картування забруднених ґрунтів і, на нашу думку, убачається можливість екомагнітного картування саме гідророзривно-флюїдного зараження верхньої частини геологічного розрізу. Зауважимо, що нами вже отримано результати використання магнітних методів

для картування вуглеводневого забруднення педосфери та підстилаючих геологічних горизонтів при видобуванні та транспортуванні традиційних вуглеводнів [14].

#### **Магнітні дослідження при пошуках вуглеводнів.**

Існуючі матеріали власних досліджень і закордонний досвід показують, що в ряді випадків з'являється можливість (а часто і необхідність) залучення інформації про магнітні властивості природних об'єктів (у тому числі й ґрунтового покриву) при пошуках нафти та газу. На сучасному етапі досліджень, крім відстеження за допомогою ультрадетальної магнітометрії певних геологічних структур на самому високороздільному рівні, актуальним завданням є інтерпретація магнітного поля в сенсі внеску в його аномальну структуру магнітного сигналу від ґрунтового покриву. При цьому, розглядаючи магнетизм ґрунтів у контексті пошуків вуглеводнів, пропонується використовувати отриману інформацію за двома напрямками.

Перший напрям – це вивчення власне магнітних властивостей ґрунтів, які сформувалися внаслідок процесів ґрунтоутворення (педогенний характер магнетизму), при внесенні до структури ґрунтів стороннього літологічного матеріалу (літогенний характер магнетизму), при антропогенному та техногенному впливі на ґрунтовий покрив [6]. Ідеться про зміну магнітності ґрунтового покриву (а отже, і внеску ґрунтів у формування аномального магнітного поля) залежно від типу ґрунтів, ландшафтних і геоморфологічних умов, ґрунтово-кліматичної зони тощо. Аномальний магнітний сигнал від ґрунтів часто може бути зіставним за інтенсивністю та амплітудою з магнітним сигналом від власне покладів вуглеводнів. Інформація про магнітні властивості основних ґрунтів України наведена в публікації [8].

Другий напрям – це розробка технології прямих пошуків нафти і газу на основі зміни під впливом вуглеводнів магнітних властивостей відповідних горизонтів гірських порід на всьому шляху міграції флюїдного потоку із нижніх геологічних шарів безпосередньо (і включаючи) у ґрунтовий покрив. Фізично даний процес частково описано в роботі [11]. Крім того, існують обнадійливі результати іноземних авторів з даного питання, де поряд зі схемами змін магнетизму природних об'єктів наводяться результати відповідних досліджень, зокрема в Південній Америці [4], Китаї [7], США [3] та в ряді інших країн.

Інформативними в контексті дослідження саме нетрадиційних вуглеводневих родовищ убачаються результати, отримані на прикладі ущільнених пісковиків в Алжирі, Південного Заходу нафтового родовища Хассі Мессаоуд [1]. Досліджувалася магнітна сприйнятливість зразків із шести свердловин в ущільнених пісковиках із кроком відбору 2 см. У більшості випадків контрасти магнітної сприйнятливості відповідали високій щільності тріщин і присутності сланців (підвищення гамма-випромінювання в даних інтервалах). Подальший магнітний аналіз зазначених зразків включав вимірювання ізотермальної залишкової намагніченості, залишкової намагніченості насичення, інших гістерезисних параметрів, термомагнітний аналіз. Результати продемонстрували, що в даних інтервалах підвищений вміст високомагнітних магнетиту та піротину. Отже, тріщини можуть розглядатися як місця осадження магнітних мінералів у резервуарі. Відзначається лінійна залежність між магнітною сприйнятливістю (MS) і основними петрофізичними параметрами (гамма-випромінювання, нейтронна пористість, щільність, нафтонасиченість).

Розглянемо один із прикладів реалізованих нами досліджень на територіях, перспективних на поклади нафти і газу в Україні, у Передкарпатському прогині, родовищі Орховичі. Ґрунтовий покрив даної території

представлено середньо- та слабкомагнітними ґрунтами. Залежно від положення в ландшафті та геоморфологічних умов виділяються дерново-підзолисті, дернові та лучні ґрунти, які характеризуються як найменш магнітні для всієї території України. Водночас у ряді випадків уздовж перетину виокремлюються різновиди сірих лісових ґрунтів, інколи окультурені внаслідок сільськогосподарської діяльності. Аналізуючи всю криву зміни MS уздовж профілю, відзначимо чітке відбивання в її структурі ландшафтних умов. Мінімальні значення характерні болотистим територіям, балкам, низовинам з лучним та часто болотним типом ґрунтового покриву. При переході через схили до вододільних точок спостереження з'являються локальні максимуми MS, що відповідає дерново-підзолистим, а інколи й сірим лісовим ґрунтам. Зауважимо, що дослідна ділянка характеризується горбистою будовою, локальні катени часто представляють дуже незначні відстані. Фактично у складі всього профілю таких мікрокатен зустрічаємо десятки і всі вони відстежуються в магнітній картині.

Нами відмічено деякі особливості поведінки магнітної сприйнятливості верхнього шару ґрунтового покриву при перетині ділянки власне покладів вуглеводнів, де йде їхнє безпосереднє видобування (качалки і т. ін.). Ефективніше аналізувати розподіл магнітної сприйнятливості ґрунтів поблизу зазначених ділянок, виокремлюючи із загального графіку конкретні проміжки. Один із них проаналізуємо на основі рис. 1. Зміни MS уздовж даної катени можуть бути проінтерпретовані у два способи. Перший як ландшафтні аномалії викликані зміною характеру рельєфу і типів ґрунтового покриву. Виділяються ділянки схилів, де відзначається поступове підвищення і відповідно спадання значень MS. Мінімуми фіксуються в низовинній частині катени з лучно-болотним типом ґрунту. Максимум фіксується на вододілі, де розповсюджений сірий лісовий тип ґрунту. Водночас можна говорити й про зміни магнітних показників, що ймовірно спричинені наявністю поруч з розвіданими покладами вуглеводнів і діючим їхнім видобутком. Фактично пік інтенсивності магнетизму збігається з продуктивною свердловиною (рис. 1).

**Магнітні методи при забрудненні ґрунтових покривів унаслідок гідророзривів пласта та транспортування вуглеводнів.** Комплекс завдань і проблем, що виникають при пошуках і розробці нетрадиційних родовищ нафти та газу, включає низку екологічних питань. Природоохоронні дослідження є важливою складовою геологорозвідувальних робіт унаслідок впливу на довкілля. Ідеться про гідророзривні порушення геологічних горизонтів, забруднення ґрунтових вод, ерозію продуктивних аграрних земель. Як відомо, під час гідророзриву в навколишнє середовище потрапляє ряд небезпечних для людини хімічних реагентів, вторинні нафтопродукти, піщані фракції. Крім того, небезпеку несе процес транспортування видобутих вуглеводнів і пов'язані з цим технологічні та аварійні витрати речовин – забруднювачів верхньої частини геологічного розрізу, ґрунтових вод, власне ґрунтового покриву.

На даному етапі у нас є досвід застосування геофізичних методів (у першу чергу магнітометрії та магнітних досліджень речовини) для розв'язання подібних завдань. Одним із шляхів розв'язання проблеми є проведення польових досліджень ґрунтового покриву сучасними експресними методами, що традиційно використовуються геофізиками. У більшості випадків необхідний результат забезпечується аналізом розподілу деяких фізичних властивостей ґрунтів земельної ділянки: вміст гумусу, коефіцієнт ерозійної небезпеки, різні види MS, інших петрофізичних параметрів. Порівняння

картограм ерозійної небезпеки (теоретичні значення) з картограмами розподілу значень вмісту гумусу та MS (лабораторні значення) дозволяє досить точно визначити аномальні ділянки, що зазвичай відповідають проявам ерозійних процесів, які виникли в результаті

некоректного функціонування протиерозійних рубежів або антропогенно-техногенного впливу. У нашому випадку йдеться про гідророзрив пластів при пошуках сланцевого газу та нафти, а також інших нетрадиційних покладів вуглеводнів.

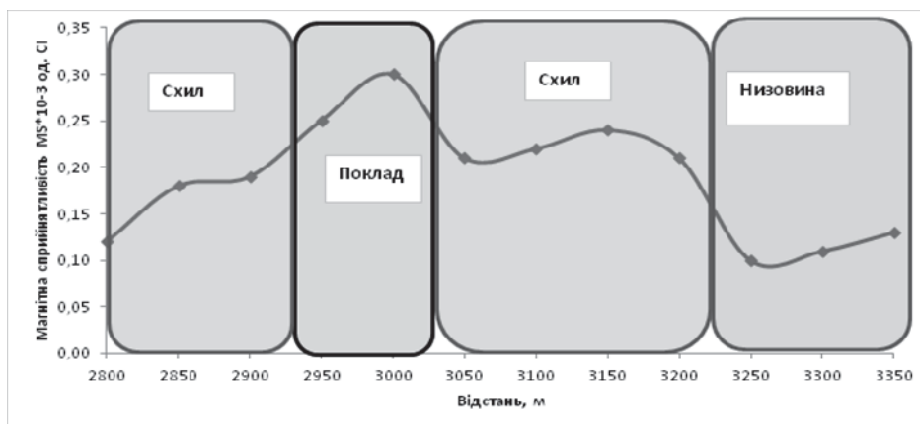


Рис. 1. Розподіл об'ємної магнітної сприйнятливості на частині профілю 6, а, що розташована в околі продуктивної свердловини нафтогазового родовища Орховицьке, Передкарпатський прогин

Забруднення вуглеводнями ґрунтового покриву, підстилаючих гірських порід, палеопедосфери та ґрунтових вод є однією з глобальних проблем дослідження навколишнього природного середовища та його сталого розвитку. При цьому йде пошук оптимальних методик виявлення відповідних забруднень та відновлення заражених природних об'єктів. Мікроорганізми *Comamonas acidovorans*, знайдені в осадових породах, активно взаємодіють з вуглеводнями при додаванні поживних речовин типу азоту та фосфору. Мікроорганізми відіграють визначальну роль у формуванні та переміщенні залістистих мінералів у забруднених вуглеводнями ґрунтах [15].

Отримані результати досліджень витоків нафтопродуктів у процесі їхнього транспортування на прикладах територій колишніх військових аеродромів Градкани (Чехія) [9] та Прилуки (Україна) [14] показали, що процес забруднення нафтопродуктами ґрунтового покриву, підстилаючих порід і ґрунтових вод характеризується рядом спільних рис. Перша з них – це флуктуація рівня ґрунтових вод, що призводить до інтенсифікації забруднення вуглеводнями верхніх шарів геологічного розрізу (включаючи палеопедосферу та ґрунти). При цьому формується так званий фронт гуміфікації, який характеризується зміною магнітних властивостей досліджуваних об'єктів. Найбільш хімічно враженими виявляються горизонти, що залягають нижче сучасного ґрунтового покриву. У процесі флуктуацій ґрунтових вод і при внесенні відповідних біоактивних речовин формуються вторинні магнітні мінерали. Одним із них може виступати магнетит, що представлений однодоменною фазою. Сумарний вміст новоутвореного магнетиту зростає з підвищенням вмісту вуглеводнів. Контроль і побудова схем відновлення забруднених унаслідок гідророзриву та транспортування видобутої вуглеводневої речовини територій з успіхом може реалізовуватися на основі комплексного ландшафтно-геофізичного аналізу та вивчення магнітної мінералогії. Результати є важливими для розробки нових технологій виявлення витоків нафти з використанням простих і швидкісних магнітних вимірювань, а також можуть застосовуватися при дослідженні зв'язків між міграцією вуглеводнів і магнітними властивостями відповідних горизонтів.

**Висновки та перспективи розвитку.** Визначено, що для магнітних методів не є важливим генезис нафти та газу, тобто родовище традиційного, чи нетрадиційного типу.

На сьогодні підтверджено зв'язок між покладами вуглеводнів і змінами магнітних мінералів під впливом міграції вуглеводневих флюїдів до верхніх частин геологічного розрізу та ґрунтів.

Виявлено, що при гідророзриві пластів і транспортуванні вуглеводнів відбувається забруднення навколишнього середовища, яке веде до формування та привнесення вторинних магнітних речовин, які, у свою чергу, можуть фіксуватися експресними, ефективними та низьковартісними засобами рок-магнетизму.

Очевидною є необхідність комплексування досліджень з методами, у першу чергу ГДС, геохімії, електророзвідки.

Дослідження нетрадиційних покладів вуглеводнів є новими для українських науковців. Перші спроби дедуктивного аналізу та інтерпретації вже зібраних польових даних з метою знаходження точок дотику між дослідженнями магнітних властивостей природних об'єктів і вивченням нетрадиційних покладів нафти і газу вказують на високу перспективність таких робіт. Тому не виключено, що в процесі подальших досліджень з'являться нові напрямки використання магнетизму при пошуках і розробці нетрадиційних вуглеводневих родовищ.

#### Список використаних джерел:

1. Magnetic susceptibility and its relation with fractures and petrophysical parameters in the tight sand oil reservoir of Hamra quartzites, southwest of the Hassi Messaoud oil field, Algeria / T. Aifa, A. Zerrouki, K. Baddari, Y. Geraud // Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2014. – № 123. – P. 120–137.
2. Civan F. Shale-Gas and Transport Mechanisms Permeability and Diffusivity Inferred by Improved Formulation of Relevant Retention / F. Civan, C. S. Rai, C. H. Sondergeld // Transp Porous Med. – 2011. – P. 925–944.
3. Goldhaber M. B. Relations among hydrocarbon reservoirs, epigenetic sulfidization, and rock magnetization: examples from the South Texas Coastal Plain / M. B. Goldhaber, R. L. Reynolds // Geophysics. – 1991. – № 56. – P. 748–757.
4. An integrated rock magnetic and EPR study in soil samples from a hydrocarbon prospective area / F. Gonzalez, M. Aldana, V. Constanzo-Alvarez, M. Diaz, I. Romero // Physics and Chemistry of the Earth. – 2002. – 27. – P. 1311–1317.
5. Holditch S.A. Fracture Treatments May Unlock Tight Reservoirs / S. A. Holditch, Morse, R. A. Large // Oil and Gas Journal. – 1971. – 29 March and 5 April.
6. Magnetic properties of the profiles of polluted and non-polluted soils. A case study from Ukraine / M. Jeleńska, A. Hasso-Agopsowicz, B. Kopcewicz, A. Sukhorada, K. Tyamina, M. Kądziałko-Hofmokl, Z. Matviishina // Geophys. J. Int. – 2004. – № 159. – P. 104–116.
7. Magnetic enhancement caused by hydrocarbon migration in the Mawangmiao Oil Field, Jiangnan Basin China / Q. Liu, Q. Liu, L. Chan,

T. Yang, X. Xia, T. Cheng // Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2006. – № 53. – P. 25–33.

8. Menshov O. Magnetic Properties of Ukraine Soils and Their Informational Content / O. Menshov, A. Sukhorada // 72th EAGE Conference & Exhibition. – 2010. <http://www.earthdoc.org/detail.php?pubid=39881>.

9. Change of magnetic properties due to fluctuation of hydrocarbon contaminated groundwater in unconsolidated sediments / M. L. Rijal, E. Appel, E. Petrovsky, U. Blaha // Environmental Pollution. – 2009. – P. 1–7.

10. Settari A. Reservoir and fracturing engineering challenges in tight gas development / A. Settari, R. C. Bachman // First break. – 2009. – № 27. – P. 59–64.

11. Surface Loess Susceptibility Anomalies Directly Indicating Oil and Gas Reservoirs / G. Shao, Z. Liang, Z. Wang, G. Liu, W. Wang // Applied Geophysics. – 2005. – 1–2, 4.

12. Архіпова Т. О. Про перспективи застосування прямих методів пошуків вуглеводнів / Т. О. Архіпова, О. І. Меньшов, А. В. Сухорада // Матеріали Всеукр. наук. конф. "Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища". – 2006. – С. 229–230.

Arhipova T.O., Menshov O.I., Sukhorada A.V., (2006). Pro perspektivy zastosuvannya pramykh metodiv poshukiv vuglevodniv. Materialy Vseukrainskoi naukivoi konferencii "Monitorinh nebezpechnykh geologichnykh procesiv ta ekologichnogo stanu seredovisha, 229-230. (In Ukrainian)

13. Богданович Н. М. Огляд умов розробки аргілітоподібних колекторів газонафтових родовищ в Росії та за кордоном / Н. М. Богданович // Геоінформатика. – 2013. – К., Диск CD.

Bogdanovich N.M., (2013). Oglad umov rozrobki argylitopodobnykh kolektoriv gazonaftovykh rodovishch v Rosii ta za kordonom. Geoinformatika 2013, Kyiv, Disk CD. (In Ukrainian)

14. Меньшов О., Сухорада А., Круглов О., Хоменко Р. Грунтовий покрив військових аеродромів України та їхня можлива екологічна санація (на прикладі аеродрому в м. Прилуки) // Вісн. Київ. нац. ун-ту ім. Т. Г. Шевченка. Сер. Геологія. – 2009. – № 47. – С. 36–38.

Menshov O., Sukhorada A., Kruglov O., Homenko R., (2009). Gruntoviy pokryv viyskovykh aerodromiv Ukrainy ta ih mojliha ekologichna sanacia (na priklyadi aerodromu v m. Priluki). Visnyk KNU Tarasa Shevchenka: Geologia, 47, 36-38. (In Ukrainian)

15. Основы изучения загрязнения геологической среды легкими нефтепродуктами / Н. С. Огняник, Н. К. Парамонова, А. Л. Брикс, И. С. Пашковский, Д. В. Коннов : моногр. Ин-т геолог. наук НАН Украины. – 2006. – 278 с.

Ognianyk N.S., Paramonova N.K., Briks A.L., Pashkovskiy I.S., Konnov D.V., (2006). Osnovy izucheniya zagrazneniya geologicheskoy sredy legkimi nefteproduktami. Monogr. I-t geolog. Nauk NAN Ukrainy, 278 p. (In Russian)

Надійшла до редколегії 15.09.14

O. Menshov, PhD (Geol.), Postdoc

E-mail: pova@list.ru,

O. Karpenko, Dr. Sci. (Geol.), Prof.

E-mail: alexbrig@inbox.ru

Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv,

90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022 Ukraine

## MAGNETIC METHODS IN UNCONVENTIONAL HYDROCARBON EXPLORATION: SETTING THE OBJECTIVES

*This paper deals with unconventional hydrocarbons exploration and production. Unconventional gas and oil include hydrocarbons in tight rocks, coal bed methane, shale gas and oil. The focus is on magnetic methods in geological exploration and geophysical research on unconventional oil and gas deposits. Oil and gas genesis has no direct bearing on the use of magnetic methods, with the latter being applied directly in hydrocarbon prospecting. On the other hand, an anomalous magnetic signal from soils is comparable in its intensity and amplitude with magnetic signals from hydrocarbon deposits. We have assessed the prospects of developing a direct method of oil and gas exploration based on the assumption that hydrocarbon migration brings about changes in magnetic minerals within the lithological formations of a hydrocarbon halo along the entire oil travel path from the lower geological layers up to the near surface geological section and soils. A correlation has been found between hydrocarbon deposits and changes in magnetic mineralogy caused by hydrocarbon fluid migration. The main magnetic attributes under study include magnetic susceptibility, frequency dependence magnetic susceptibility, isothermal remanent magnetization, saturation magnetization, and the parameters of thermomagnetic analysis.*

*Hydraulic fracturing, which is commonly used to extract hydrocarbons from unconventional reservoirs, often results in emitting environmental pollutants, such as toxic chemical reagents, petroleum derivatives and sand fraction. Furthermore, hydrocarbon handling entails the risk of accidental release of pollutants and contaminating the subsurface, geologic sections, groundwater and soil. It has been shown that environmental pollution caused by hydraulic fracturing and hydrocarbon handling is associated with formation and introduction of secondary magnetic minerals. Magnetic methods used to detect autogenic magnetic substances are rapid, highly efficient and economically sound.*

**Keywords:** magnetic methods, hydrocarbons, shale gas, oil, soil magnetism, magnetic susceptibility.

А. Меньшов, канд. геол. наук, докторант

E-mail: pova@list.ru,

А. Карпенко, д-р геол. наук, проф.

E-mail: alexbrig@inbox.ru

Київський національний університет імені Тараса Шевченка,

УНІ "Інститут геології", ул. Васильківська, 90, г. Київ, 03022, Україна

## МАГНИТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ПОИСКАХ ЗАЛЕЖЕЙ УГЛЕВОДОРОДОВ НЕТРАДИЦИОННОГО ТИПА. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

*Рассматриваются проблемы, связанные с поисками и добычей углеводородов нетрадиционного типа. Понятие нетрадиционного газа и нефти включает углеводороды в уплотненных породах, метан угольных пластов, сланцевый газ и нефть. Определяется место магнитных методов в комплексе геологоразведочных работ и геофизических методов исследований нефтегазоперспективных территорий с залежами нетрадиционного типа. Выявлено, что для магнитного метода не имеет значения генезис нефти и газа, поскольку изучение магнетизма природных объектов может выступать в качестве прямого поискового метода. В то же время аномальный магнитный сигнал от почвы часто может быть сопоставимым по интенсивности и амплитуде с магнитным сигналом от собственно залежей углеводородов. Исследуется вопрос разработки технологии прямых поисков нефти и газа на основе изменения под влиянием углеводородов магнитных свойств соответствующих геологических толщ на всем пути миграции флюидного потока из нижних геологических слоев в верхнюю часть геологического разреза и почвенный покров. На основе приведенных результатов подтверждена связь между залежами углеводородов и изменениями магнитных минералов под влиянием миграции углеводородных флюидов в верхнюю часть геологического разреза и почву. Основными исследуемыми параметрами являются магнитная восприимчивость, частотно зависящая магнитная восприимчивость, изотермальная остаточная намагниченность, намагниченность насыщения, параметры термомагнитного анализа.*

*Кроме того, во время гидроразрыва, который является неотъемлемой частью комплекса работ при добыче углеводородов из нетрадиционных залежей, в окружающую среду попадает ряд опасных для человека химических реагентов, вторичные нефтепродукты, песчаные фракции. Также, опасность несет процесс транспортировки добытых углеводородов и связанные с этим технологические и аварийные утечки веществ загрязнителей верхней части геологического разреза, грунтовых вод, почвенного покрова. Выявлено, что при гидроразрыве пластов и транспортировке углеводородов происходит загрязнение окружающей среды, которое ведет к формированию и привнесению вторичных магнитных веществ, что, в свою очередь, может фиксироваться экспрессными, высокоэффективными и дешевыми магнитными методами.*

**Ключевые слова:** магнитные методы, углеводороды, сланцевый газ, нефть, магнетизм почвы, магнитная восприимчивость.

УДК 550.83.01

К. Тройніч, асп.  
Email: k.stan@i.ua,Б. Матвійчук, асп.  
Email: molotokhammer@bigmir.net,С. Вижва, д-р геол. наук, проф.  
Email: vsa@univ.kiev.ua,Київський національний університет імені Тараса Шевченка,  
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна

## ГЕОФІЗИЧНА ТОМОГРАФІЯ: СУЧАСНИЙ СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАВДАНЬ НАФТОГАЗОВОЇ ГЕОЛОГІЇ

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

Розглядаються сучасні підходи до застосування методу сейсмічної томографії – інструменту розв'язання оберненої задачі геофізики. Основну увагу приділено застосуванню геофізичної томографії для вирішення завдань нафтогазової промисловості на всіх етапах життя родовищ.

Показано, що даний метод може бути успішно використаний для інверсії пружних та електричних параметрів, анізотропії тощо. Тривимірний розподіл геофізичних параметрів у середовищі, що досліджується, отриманий за допомогою томографії, може бути використаний для переходу до геологічних (літологічних) параметрів, таких як мінеральний склад, структурно-текстурні особливості, пористість, тріщинуватість.

Запропоновано один із можливих варіантів отримання за допомогою інверсії не геофізичних, а безпосередньо літологічних параметрів. Також показано, що томографію можна використовувати для апроксимації даних геофізичних досліджень свердловин у міжсвердловинному просторі.

**Ключові слова:** інверсія, геофізична томографія, літологічна томографія, методологія геофізичних досліджень.

**Вступ.** Останніми роками спостерігається тенденція до залучення родовищ нафти та газу з усе складнішою геологічною будовою у зв'язку з виснаженням родовищ, приурочених до традиційних пасток вуглеводнів. Як наслідок, вимоги до роздільної здатності та кількості параметрів, що характеризують геолого-геофізичні моделі, постійно зростають. Це ставить перед геологами та геофізиками нове завдання, успішне подолання якого потребує безперервного вдосконалення існуючих методів досліджень з використанням усього потенціалу сучасних технологій та новітніх наукових досягнень.

Крім цього, усе більш актуальним постає питання отримання геологічних параметрів на базі геофізичних даних. У цьому напрямку широко застосовується інверсія геофізичних даних, тобто оцінка розподілу геофізичних параметрів на основі спостережених геофізичних полів. Проте геофізичні параметри, отримані на основі більшості методів інверсії, не дають повного уявлення про геологічні параметри (мінеральний склад, літологічні та структурно-текстурні особливості тощо) середовища. Наявна геологічна інформація, отримана прямими методами (дослідження керна, шламу), часто носить дуже обмежений характер через високу вартість її отримання та супроводжується похибками, пов'язаними з руйнуванням породи під час відбору зразків. Тому завдання отримання геологічних характеристик на основі даних геофізичних методів набуває все більшої актуальності.

У ННІ "Інститут геології" Київського національного університету імені Тараса Шевченка ведуться власні розробки з отримання літологічних характеристик на основі даних геофізичних методів. Сьогодні технічний прогрес дозволяє поступово наближатися до розв'язання задач літотомографії в режимі реального часу і автори сподіваються зробити свій внесок у вирішення обернених поліпараметричних задач.

За тридцятирічну історію розвитку томографії даний метод набув широкої популярності, а коло завдань, що вирішуються за його допомогою, значно розширилося [41]. Серед піонерних можна виділити роботи Aki, Richards [7], Anderson, Dziewonski [8], Bishop et al. [11], Shiu, Stewart [18]. Принципи, закладені в цих роботах, залишаються незмінними й сьогодні. З 80-х рр. XX ст у рамках виконання фундаментальних і прикладних досліджень у Київському університеті почалася розробка теоретичних і методологічних основ геофізичної томографії. Зокрема, під керівництвом Ю. В. Тімошина роз-

роблено ряд технологій сейсмічної томографії на основі використання даних свердловинної та наземної сейсморозвідки [5]. У подальшому в роботах Г. Т. Продайводи, С. А. Вижви, І. В. Віршила розроблено алгоритми та спеціалізоване програмне забезпечення для інверсії ультразвукових, акустичних і сейсмічних даних з урахуванням структури пустотного простору, мінералогічного складу, складу пустотних наповнювачів, анізотропії, напружено-деформованого стану та нелінійних ефектів [1].

Серед методів інверсії геофізичних даних, на думку авторів статті, найбільший потенціал має геофізична томографія. Найширшого застосування з-поміж різновидів томографії сьогодні набула сейсмічна томографія, що пов'язано з провідною роллю сейсморозвідки як найбільш розвинутого та затратного методу геофізичних досліджень. Її використовують для глибинних перетворень, міграційних процедур, оцінки Q-фактора, побудови швидкісної моделі, вивчення підсолевих покладів тощо. Серед несейсмічних методів томографія застосовується для інверсії даних георадара, методів геофізичних досліджень свердловин, ВСГП, електричних методів і гравімагнітних полів. Проте напрям застосування геофізичної томографії для отримання літологічної характеристики розрізу на основі геофізичних даних наразі розвинутий слабо.

**Метою** статті є аналіз вітчизняних і зарубіжних публікацій, що стосуються геофізичної томографії, для виділення напрямку, який є актуальним, але не розроблений повною мірою. Такий аналіз є дуже важливим, оскільки в ННІ "Інститут геології" в межах наукової програми досліджень ведуться активні розробки алгоритму літологічної томографії. Отже, аналіз існуючих сучасних підходів до розв'язання оберненої задачі геофізики з метою отримання літологічної характеристики розрізу дасть змогу визначити їхні переваги і недоліки та пересвідчитись, що підходи, які розробляються на геологічному факультеті, ще не застосовувались.

Для збереження послідовності викладу матеріалу огляд буде згрупований за завданнями, які розв'язуються. Причому основну увагу буде приділено завданням, пов'язаним з пошуками та розробкою вуглеводнів.

**Геофізична томографія. Основні аспекти.** Геофізична томографія базується на фундаментальних математичних положеннях. В її основі лежить теорема Радона, яка встановлює зв'язок між функцією (параме-

трами середовища) та її проекціями (інтегралами параметрів) [22, 29]. Багато методів сейсмічної томографії мають тісні зв'язки з більш звичними методами сейсмічної візуалізації, такими як інверсія часу проходження (traveltime inversion), міграція Кірхгофа та інверсія Борна (Born inversion) [32]. Наприклад, сейсмічна променева томографія, що використовується для визначення пружних швидкостей, є формою інверсії пробігу, а сейсмічна дифракційна томографія тісно пов'язана з інверсією Борна і сейсмічною міграцією. Таким чином, сейсмічна томографія – це фактично ще один різновид відтворення будови геологічного середовища, який геофізики вже використовують протягом багатьох років.

Сейсмічна томографія застосовується для широкого кола завдань у нафтовій промисловості на різних стадіях розвитку родовищ, починаючи з розвідки і до розробки та видобутку. Тематичні дослідження показують, що сейсмічна томографія може доповнювати звичайні сей-

смічні методи і забезпечує унікальну, раніше недоступну, інформацію про геологічну будову [31]. Томографія, застосована до сейсмічних даних, дає можливість створювати моделі сейсмічних швидкостей для розв'язання задач сейсморозвідки. Ці швидкісні моделі можуть, у свою чергу, бути використані як додаткова інформація для геостатистичної інтерполяції даних каротажу між свердловинами.

**Використання томографії при міжсвердловинних дослідженнях.** Швидкий розвиток томографії, особливо у сфері міжсвердловинних досліджень, пов'язаний з можливістю отримання інформації високого ступеня достовірності на недосяжних для класичних методів відстанях [34]. Дана теза проілюстрована на рис. 1. Наведено модель геологічного середовища, яка чудово ілюструє переваги міжсвердловинної томографії при дослідженні пласта-колектора.

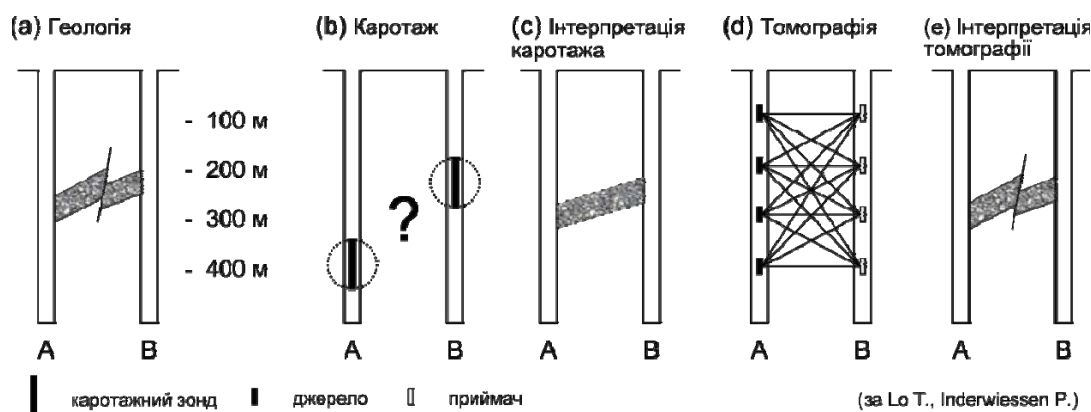


Рис. 1. Переваги використання томографії перед ГДС [32]:

а – реальна модель геологічного середовища; б – можливості стандартних методів ГДС; с – інтерпретація методів ГДС з використанням лінійної інтерполяції; д – схема проведення міжсвердловинної геофізичної томографії; е – результат геофізичної томографії

Спираючись на дані ГДС відносно невеликої глибини (рис. 1, б), можна провести лише лінійноподібну інтерпретацію, адже геометрія пласта простежується лише на невеликій відстані від ствола свердловини (рис. 1, с). На рис. 1, д зображено конфігурацію системи джерело-приймач для проведення томографії між свердловинами А та В. Залежно від відстаней між свердловинами, кількості датчиків та відстаней між ними, можна отримувати моделі різної роздільної здатності, а отже вирішувати задачі різних масштабів. При порівнянні інтерпретації томографії (рис. 1, е) та інтерпретації ГДС (рис. 1, с) можна легко показати, що відсутність інформації на більшій частині простору не дозволяє робити достовірні висновки про будову геологічного середовища, спираючись на дані ГДС. Наявність розлому між свердловинами А та В може призвести до неприємних наслідків, особливо при розробці пласта-колектора методами інтенсифікації видобутку.

Історично вперше [12] метод томографії був застосований за даними міжсвердловинних досліджень. У цьому випадку відносно невеликі масштаби, достовірні дані ГДС і можливість повного покриття досліджуваного об'єкта променями під різними кутами дозволяли отримувати однозначний результат [13]. Розглянуто як можливі конфігурації свердловин, так і використання томографії для різних параметрів [23]. Результатом стала запропонована одночасна інверсія двох і більше параметрів (joint inversion) [30, 45]. Використання сейсмічної томографії для міжсвердловинних досліджень дозволяє на порядок покращити уявлення про просторове положення досліджуваного пласта, а також виявити наявні

розломи, зони високої тріщинуватості тощо. Ця інформація особливо цінна для пластів колекторів, до яких необхідне застосування інтенсифікації видобутку (бітумінозні пісковики, низькопористі карбонати, сланцеві товщі та ін.). Результатом міжсвердловинної сейсмічної томографії є отримання зображення сейсмічної структури між свердловинами, яке неможливо одержати класичними методами каротажу, адже методи ГДС мають досить обмежену глибинність, а тому міжсвердловинний простір може бути лише результатом певного виду (у т. ч. лінійної) інтерполяції [32].

Методика проведення електричної резистивної (питомого опору) томографії (ЕРТ) описана в роботі [20]. Наведено розрахунки прямої задачі, концепцію проведення дослідження в міжсвердловинній конфігурації, а також ітеративний алгоритм обчислення томограм. Варто зауважити, що оптимальний розв'язок особливо сильно залежить від кількості ітерацій, підвищення кількості яких може виразитися як у покращанні якості зображення, так і в підвищенні рівня артефактів. Оптимальна кількість ітерацій залежить від природи артефактів і характеристик розподілу питомого опору.

У 90-і рр. було опубліковано групу робіт з теоретичних основ міжсвердловинної електромагнітної (ЕМ) томографії, а також розробки апаратної частини методу [9, 27]. Один із методів використовує томографію через перетворення дифузійних ЕМ полів у хвильові поля. Щоправда, задача перетворення полів не має стійкого розв'язку і потребує відповідної схеми регуляризації. Тому в роботі [27] запропоновано спрощений метод на базі апроксимації, який дозволяє відтворювати структуру роз-

поділу питомого опору/провідності досліджуваного середовища. Даний метод має свої недоліки, які пов'язані з високою чутливістю до відстані між антеною та тілом, що досліджувалося, породжує артефакти в результаті високої наведеної індуктивності при близькому взаємному розташуванні та низькому питомому опорі тіла/розрізу.

Подальший розвиток ЕМ томографія отримала в роботі [14]. Запропоновано використання одразу групи частот та описано застосування ЕМ томографії з використанням двох частот. За допомогою такого підходу було отримано результати без артефактів, тобто проблема вторинної індуктивності високопровідних середовищ була повністю розв'язана. Крім цього, спостерігається підвищення роздільної здатності порівняно з одночастотними дослідженнями.

**Використання томографії в сейсморозвідці.** Томографічну інверсію можна застосовувати не лише для даних міжсвердловинного прозвучування, але й даних поверхневої сейсморозвідки. Для цього розроблено спеціальні методи, що не передбачають повного покриття моделі променями з широким діапазоном азимутів спостережень [19]. Розрізняють багато різних модифікацій цього методу, які можна звести до двох великих груп: променевої [36] та дифракційної томографії [40, 42]. Як вхідні дані для цих двох груп методів використовуються часи пробігів хвиль і повне хвильове поле відповідно.

За допомогою сейсмічної томографії вирішується велика кількість задач, суть яких найчастіше зводиться до визначення швидкісної моделі. Серед великої різноманітності методів сейсмічної томографії найкраще зарекомендував себе метод томографії на основі трасування сейсмічних променів і зменшення нев'язки між спостереженими часами та часами пробігів хвиль. На думку авторів [28, 30–31], трасування променів є компромісом між якістю результатів, вартістю досліджень і затracеним часом. У фундаментальній роботі [11] наводиться опис алгоритму відновлення швидкісної моделі середовища, швидкісні параметри якого змінюються як по вертикалі, так і по латералі. Даний підхід дав набагато кращі результати порівняно з іншими тогочасними алгоритмами, які припускали, що варіації швидкості можливі лише по глибині [37]. Пізніше, у роботах [38], модель була розширена таким чином, щоб враховувати не лише латеральні варіації швидкості, але й анізотропію.

У подальшому сейсмічна томографія розвивалась у таких напрямках [41]: перехід від маленьких моделей до великих, від вузького діапазону азимутів до широкого, від ізотропних моделей до анізотропних. Також багато уваги було приділено питанню трасування променів [10, 17, 26, 39] та збільшенню стійкості розв'язку задачі у випадку недостатнього покриття моделі сейсмічними променями [35, 44, 46–47]. Інший напрям розвитку сейсмічної томографії полягає у зменшенні часу обчислень [6, 21] і створенні моделі з меншою кількістю параметрів, що знижує ціну застосування томографії (менш потужні обчислювальні системи та менший час оренди серверів). Проте всі ці дослідження ніяк не змінюють суті задачі – визначення розподілу швидкостей. Лише потім, на більш пізніх етапах обробки, відбувається інверсія швидкостей в такі геофізичні параметри, як густина та пружні сталі, а також такі характеристики, як пористість і проникність [31] або навіть літологічний склад та інші геофізичні параметри [2–4, 33].

Важливим аспектом лишається те, що існують різні підходи до включення геологічних структур у модель. У частині з них томографія оновлює тільки швидкісну модель, не змінюючи геометрії пластів, але деякі дослідники [38] в алгоритм томографії закладають одночасно і геометрію відбивних горизонтів. Таким чином, не-

в'язка пробігу часу може зменшуватись не лише за рахунок швидкостей, але й за рахунок зміни товщини пластів.

Широко розвивається започаткований напрям томографії [18], в якому розглядається інтегрування каротажних даних, даних ВСП і сейсморозвідки для отримання оптимальної структурної моделі з глибиною. Використання поверхневої сейсморозвідки забезпечує покриття на великій площі, а ВСП та/або каротажні дані забезпечують граничні умови, які необхідні для розв'язання проблеми багатозначності даних сейсморозвідки. ВСП дослідження на різних офсетах використовуються для обчислення швидкостей поперечно-ізоотропного середовища. Використовуючи томографічну інверсію каротажу, ВСП та сейсміки, отримують геологічну модель (глибинну), яка добре узгоджується з акустичним каротажом і даними сейсморозвідки після стандартної 3D обробки сейсмічних даних.

Як відомо, сейсмічні дослідження показують геологічні об'єкти в подвійному часі пробігу сейсмічної хвилі, що не має жодного сенсу для геологів. Отже, постає важливе питання правильного відображення сейсмічних відбиттів у глибинному геологічному просторі. Це задача надзвичайно складна, оскільки для того, щоб правильно знайти місцеположення сейсмічних відбиттів у просторі, треба розв'язувати хвильове рівняння та простежувати шлях сейсмічної енергії від джерела до приймачів, урахувавши рефракцію, дифракцію, поглинання енергії тощо. Така задача дуже просто вирішується за допомогою томографії, оскільки сама суть томографії передбачає відновлення розповсюдження сейсмічної енергії у просторі. Існує велика кількість робіт [24–25, 43], в яких томографія використовується для вирішення задачі правильного відображення положень відбивних горизонтів у просторі.

Швидкісна модель, яка була отримана в результаті інверсії за допомогою сейсмічної томографії, може бути безпосередньо використана для здійснення перетворення час–глибина. Така опція доступна в сучасному програмному забезпеченні для інтерпретації геологічних даних, таких як Petrel, у вигляді стандартної функції.

З іншого боку, швидкісна модель, отримана за допомогою томографії, може бути використана як вхідні дані для глибинної міграції [29]. Такий підхід користується великою популярністю, оскільки дозволяє створити замкнений цикл оновлення структурної моделі: на основі томографії трасується відбиття та оновлюється швидкісна модель. Отримані швидкості дозволяють знайти уточнене положення відбивних поверхонь, що, у свою чергу, дозволяє краще змодельовати шлях розповсюдження сейсмічних відбиттів. Ми вже зазначали, що деякі дослідники [38] замість ітеративного процесу створюють розрахункові схеми, які одночасно обчислюють положення відбивних горизонтів і швидкість у межах шарів.

Іншим важливим аспектом обробки даних сейсморозвідки є знаходження статичної поправки або уточнення існуючої поправки за наявності даних просторового розміщення сейсмопрофілів достатньої якості. Ця задача також успішно вирішується за допомогою томографії. У роботі [16] для обчислення статичної поправки використовується тривимірна модель, через яку проходять прямі, відбиті та заломлені промені. Одночасне використання всіх можливих видів променів дозволяє дуже впевнено побудувати приповерхневу модель середовища.

Томографія дозволяє інвертувати не лише часи пробігів хвиль, але й їхні амплітуди. Тобто даний метод спроможний розраховувати коефіцієнти поглинання середовища [38]. Оскільки з коефіцієнтами поглинання тісно пов'язана втрата частот з глибиною (що зменшує

роздільну здатність сейсморозвідки), то введення поправок за поглинання (Q-компенсація) стає окремим важливим завданням. У роботі [15] показано один із можливих варіантів вирішення цієї задачі.

Як видно з наведених публікацій, усе частіше томографія застосовується як основний метод для аналізу швидкостей як у міжсвердловинних дослідженнях, так і даних наземної сейсморозвідки, існує декілька методів аналізу швидкостей відбиттів. Зрештою, стало можливим використання великої кількості параметрів для застосування в задачах томографії, що гарантує поширення застосування геофізичної томографії в майбутньому.

**Проблеми та перспективи розвитку методу.** Основна ідея літологічної томографії полягає в тому, щоб, маючи дані непрямих і прямих спостережень у певних ділянках простору, перенести параметри, виміряні прямими методами (або оцінені непрямыми методами з високим ступенем достовірності) на ті області, де наявні дані лише непрямих методів [33]. Це можливо лише у випадку, коли буде встановлено зв'язок між тими параметрами, що ми можемо виміряти, та тими, що ми хочемо отримати в результаті наших досліджень. Так чи інакше, це можливо, оскільки в арсеналі дослідника є закони природи, які визначають ці зв'язки. Крім цього, велика кількість параметрів у геофізиці має кореляційні зв'язки та може бути пов'язана статистичними законами з необхідною точністю.

Значну роль у літологічній інверсії геофізичних даних відіграє математичне моделювання ефективних пружних параметрів геологічного середовища з урахуванням мінералогічного складу, структурно-текстурних особливостей, пористості та тріщинуватості, функції розподілу напружено-деформованого стану, нелінійних ефектів, анізотропії в триклінному наближенні [1, 3]. Лише врахувавши всі зазначені фактори, можна визначити зв'язки між геофізичними параметрами та літологічним складом. На основі цих зв'язків можна виконувати оцінку літологічної характеристики розрізу за спостереженими геофізичними полями.

У випадку неможливості побудови функціональних зв'язків між літологічними та геофізичними параметрами середовища можна використовувати методи статистичного моделювання (метод Монте-Карло тощо).

Складність задачі літологічної томографії полягає в різноманітності характеристик гірських порід. Розв'язок задачі літологічної томографії на сьогоднішній день можливий лише з використанням порід з вузьким діапазоном значень геофізичних параметрів, а отже, необхідно досконало вивчити породи, що представлені на геологічному розрізі досліджуваної ділянки. При виконанні цих умов розв'язок наближається до єдиної літологічної моделі геологічного середовища.

**Висновки.** Велика кількість задач, що успішно вирішується за допомогою геофізичної томографії, є неспростовним доказом потенціалу даного методу. Проте, на думку авторів статті, потенціал геофізичної томографії повністю не розкритий, оскільки даний метод ще не знайшов широкого застосування в дослідженні літологічної характеристики середовища. Літологічна інверсія даних комплексу геофізичних методів з використанням томографії можлива при її поєднанні з математичним моделюванням ефективних геофізичних параметрів і геостатистикою.

Саме в названому поєднанні методів досліджень автори бачать реальну можливість оцінки кількісної характеристики, зокрема речовинного складу та структурно-текстурних особливостей геологічного середовища. Вирішення цих завдань є метою наступних досліджень авторів. Подальший розвиток даних ідей

знайде своє відображення в розробці сучасних алгоритмів обрахунку томографії для вирішення геофізичних задач та отримання результатів інтерпретації безпосередньо в літологічних параметрах.

#### Список використаних джерел

1. Вижва С. А. Геофізичний моніторинг небезпечних геологічних процесів / С. А. Вижва. – К.: Обрії, 2004. – 234 с.
2. Vyzhva S.A., (2004). Geophysical monitoring of hazardous geological processes. Kyiv: Obryi, 234. (In Ukrainian)
3. Вижва С. А. Гравімагнітна томографія: становлення і перспективи розвитку / С. А. Вижва, Г. Т. Продайвода, П. І. Гришук // Вісн. Київ. нац. ун-ту ім. Т. Г. Шевченка. Сер. Геологія. – 2010. – № 48. С. 33–35.
4. Vyzhva S.A., Prodayvoda G. T., Gryshchuk P.I., (2010). Gravimagnetic tomography: formation and prospects of development. Visnyk of Kyiv university: Geology, 48, 33–35. (In Ukrainian)
5. Вижва С. А. Методологічні і теоретичні принципи сейсмогравітаційної томографії / С. А. Вижва, Г. Т. Продайвода, І. В. Віршило // Вісн. Київ. нац. ун-ту ім. Т. Г. Шевченка. Сер. Геологія. – 2010. – № 48. С. 29–33.
6. Vyzhva S.A., Prodayvoda G.T., Virshylo I.V., (2010). Methodological and theoretical principles of seismic-gravity tomography. Visnyk of Kyiv university: Geology, 48, 29–33. (In Ukrainian)
7. Продайвода Г. Т. (2005). Сейсмогравітаційний метод визначення мінералогічного складу геологічного середовища / Г. Т. Продайвода, І. В. Віршило, О. А. Козіонова, Т. Г. Продайвода // Вісн. Київ. нац. ун-ту ім. Т. Г. Шевченка. Сер. Геологія. – № 34/35. – С 58–61.
8. Prodayvoda G.T., Vyzhva S.A., Virshylo I.V., Kozionova O.A., Prodayvoda T.G., (2005). Seismic-gravity method for determining the mineralogical composition of geological environment. Visnyk of Kyiv university: Geology, 34/35, 58–61 (In Ukrainian).
9. Тимошин Ю. В. Импульсная сейсмическая голография / Ю. В. Тимошин. – М.: Недра, 1978. – 285 с.
10. Timoshin U.V., (1978). Impulse seismic holography. Moscow, Nedra, 285. (In Russian)
11. Aifei B. Optimization for fast ray tracing in block structure models / B. Aifei, Y. Wenhui // CPS/SEG Beijing 2009. International Geophysical Conference & Exposition. – P. 4–7.
12. Aki K. Quantitative Seismology / K. Aki, P.G. Richards // Theory and Methods. – 1980. – Vol. II. – W. H. Freeman, San Francisco. – 373 p.
13. Anderson D. L. Seismic tomography / D. L. Anderson, A. M. Dziewonski // Scientific American. – 1984, October. – P. 60–68.
14. Becht A. Inversion strategy in crosshole radar tomography using information of data subsets / A. Becht, J. Tronicke, E. Appel, P. Dietrich // Geophysics. – 2004. – № 69(1). – P. 222–230.
15. Benxi K. Fat ray first arrival seismic tomography and its application / K. Benxi, Z. Jianzhong, C. Baofu, Z. Bo // SEG Technical Program Expanded Abstracts. – 2007. – P. 2822–2826.
16. Bishop T. N. Tomographic determination of velocity and depth in laterally varying media / T. N. Bishop, K. P. Bube, R. T. Cutler, R. T. Langan, P. L. Love, J. R. Resnick, R. T. Shuey, at al. // Geophysics. – 1985. – № 50(6). – P. 903–923.
17. Bois P. 1972. Well-to well seismic measurements / P. Bois, M. LaPorte, M. LaVergne, G. Thomas // Geophysics. – (3), 7. – P. 471–480.
18. Bregman N. D. Crosshole seismic tomography / N. D. Bregman, R. C. Bailey, C. H. Chapman // Geophysics. – 1989. – 54(2). – P. 200–215.
19. Cao J. Conductivity tomography at two frequencies / J. Cao, Z. He, J. Zhu, P. K. Fullagar // Geophysics. – 2003. 68(2) – P. 516–522.
20. Cavalca M. Ray-based Tomography for Q Estimation and Q Compensation in Complex Media / M. Cavalca, I. Moore, L. Zhang, S. L. Ng, R. P. Fletcher, M. P. Bayly // EAGE Conference. – Vienna, 2011..
21. Chang X. 3D tomographic static correction / X. Chang, Y. Liu, H. Wang, F. Li, J. Chen // Geophysics. – 2002. – 67(4). – P. 1275–1285.
22. Cheng N. Minimum traveltine calculation in 3-D graph theory / N. Cheng, L. House // Geophysics. – 1996. – 61(6), P. 1895–1898.
23. Chiu S. K. L. Tomographic determination of three-dimensional seismic velocity structure using well logs, vertical seismic profiles, and surface seismic data. / S. K. L. Chiu, R. R. Stewart // Geophysics. – 1987. – 8. – P. 1085–1098.
24. Cutler R. T. Seismic Tomography: Formulation and Methodology / R. T. Cutler, T. N. Bishop, H. W. Wyld, R. T. Shuey, R. A. Kroeger, R. C. Jones, M. L. Rathbun // Geophysics. – 1983. – (1). – P. 19–20.
25. Daily W. Cross-borehole resistivity tomography / W. Daily, E. Owen // Geophysics. – 1991. – 56(8). – P. 1228–1235.
26. Dougherty D. E. Optimal 3-d geophysical tomography / D. E. Dougherty, M. J. Eppstein // Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems. – 1998. – P. 249–256.
27. Durrani T. S. The Radon transform and its properties / T. S. Durrani, D. Bisset // Geophysics. – 1984. – 49(8). – P. 1180–1187.
28. Gheshlaghi F. Santamarina J. C., Data Pre-Processing in Cross-Hole Geotomography / F. Gheshlaghi, J. C. Santamarina // Journal of Environmental and Engineering Geophysics. – 1998. – 3(1). – P. 41.
29. Guillaume P. Multi-layer tomography and its application for improved depth imaging / P. Guillaume, S. Hollingworth, X. Zhang, A. Prescott, R. Jupp, G. Lambare, O. Pape // SEG Technical Program Expanded Abstracts. – 2012. – P. 1–5.
30. Lambare G Non-linear tomography for time imaging / G. Lambare, N. Deladerriere, Y. Traonmilin, J. Toure, J. Le-moigne, C. France // 71st

EAGE Conference Exhibition. – Amsterdam, The Netherlands, 8–11 June 2009. – P. 3984–3988.

26. Langan R. Tracing of rays through heterogeneous media: An accurate and efficient procedure / R. Langan, I. Lerche, R. Cutler // *Geophysics*. – 1985. – 50(9). – P. 1456–1465.

27. Lee T. J. Electromagnetic traveltimes tomography using an approximate wavefield transform / T. J. Lee, J. H. Suh, H. J. Kim, Y. Song, K. H. Lee // *Geophysics*. – 2002. – 67(1). – P. 68.

28. Lines L. Applications of tomography to borehole and reflection seismology / Lines L. // *The Leading Edge*. – 1991. – 10. – P. 11–17.

29. Lines L. R. Poor Man's Anisotropic Traveltime Tomography / L. R. Lines // *Geophysics*. – 1991. – (1984). – P. 83–86.

30. Lines L. R. Cooperative inversion of geophysical data / L. R. Lines, A. K. Schultz, S. Treitel // *Geophysics*. – 1988. – 53(1). – P. 8–20.

31. Lines L. Integrated reservoir characterization: Beyond tomography / L. Lines, H. Tan, S. Treitel, J. Beck, R. Chambers, J. Eager, M. Van Schaak // *Geophysics*. – 1995. – 60(2), 354–364.

32. Lo T., Inderwiessen P. Fundamentals of Seismic Tomography / T. Lo, P. Inderwiessen // SEG. Geophysical Monograph Series. – 1994 – P. 187.

33. Lortzer G. An integrated approach to lithologic inversion-Part I: Theory / G. Lortzer, A. Berkhout // *Geophysics*. – 1992. – 57(2). – P. 233–244.

34. McMechan G. Seismic tomography in boreholes / G. McMechan // *Geophys. J. R. astr. Soc.* – 1983. – 74. – P. 601–612.

35. Pei D. Threedimensional traveltimes tomography via LSQR with regularization / D. Pei // SEG Technical Program Expanded Abstracts. – 2009. – (1). – P. 4004–4008.

36. Phillips W. Fehler M. Traveltime tomography: A comparison of popular algorithms / W. Phillips, M. Fehler // *Geophysics*. – 1991. – 56(10). – P. 1639–1649.

37. Russell B. Introduction to Seismic Inversion Methods / B. Russell // Society of Exploration Geophysicist. – 1988. – 178 p.

38. Stewart R. R., Chiu S. K. Tomographic Imaging of a Heavy Oil Reservoir Using Well Logs VSP And 3-D Seismic / R. R. Stewart, S. K. Chiu // SEG Annual Meeting, (Mm). – 1986. – P. 5–7.

39. Vidale J. Finite-difference calculation of traveltimes in three dimensions / J. Vidale // *Geophysics*. – 1990. – 55(5). – P. 521–526.

40. Witten A. J. Seismic Reflection Diffraction Tomography / A. J. Witten // *Journal of Environmental and Engineering Geophysics*. – 1996. – 1(3). – P. 205.

41. Woodward M. J. A decade of tomography / M. J. Woodward, D. Nichols, O. Zdraveva, P. Whitfield, T. Johns // *Geophysics*. – 2008. – 73(5), VE5–VE11.

42. Woodward M. J. Wave-equation tomography / M. J. Woodward // *Geophysics*. – 1992. – 57(1). – P. 15–26.

43. Wu R. Toksoz M. Diffraction tomography and multisource holography applied to seismic imaging / R. Wu, M. Toksoz // *Geophysics*. – 1987. – 52(1). – P. 11–25.

44. Zhang J. Fat ray tomography with optimal relaxation factor / J. Zhang, U. Xiamen, B. Zhao, H. Zhou, T. T. U // SEG Houston 2009 International Exposition and Annual Meeting. – 2009. – (1). – P. 4044–4048.

45. Zhou C. Multiparameter joint tomography for TTI model building / C. Zhou, J. Jiao, S. Lin, J. Sherwood, S. Brandsberg-Dahl // *Geophysics*. – 2011. – 76(5). – WB183–WB190.

46. Zhou H. Multiscale traveltimes tomography / H. Zhou // *Geophysics*. – 2003. – 68(5). – P. 1639–1649.

47. Zhou H. Multiscale deformable-layer tomography / H. Zhou // *Geophysics*. – 2006. – 71(3). – R11–R19.

Надійшла до редколегії 17.11.14

K. Troinich, Postgraduate Student

Email: k.stan@i.ua,

B. Matviychuk, Postgraduate Student

Email: molotokhammer@bigmir.net,

S. Vyzhva, Dr. Sci. (Geol.), Prof.

Email: vsa@univ.kiev.ua

Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv,

90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022 Ukraine

## GEOPHYSICAL TOMOGRAPHY: CURRENT STATE AND IMPLICATIONS FOR THE PETROLEUM GEOLOGY INDUSTRY

*This paper reviews current approaches to the implementation of the method of seismic tomography – a powerful tool which is used for solving the inverse problem in geophysics. Emphasis is laid on the application of geophysical tomography in the oil and gas industry at all field exploration and production stages.*

*It has been shown that this method can be successfully used for the inversion of elastic and electrical parameters, anisotropy, etc. The three-dimensional distribution of geophysical parameters in the explored medium obtained through imaging can be used to determine the geological (lithological) parameters such as mineral composition, structural and textural features, porosity, and fracture.*

*A possible implementation of the inversion suggested is not into geophysical but directly into lithological parameters. It has also been demonstrated that tomography can be used to interpolate the well logging data in the inter-well space.*

**Keywords:** inversion, geophysical tomography, lithological tomography, Geophysical Research Methodology.

K. Тройнич, асп.

Email: k.stan@i.ua,

Б. Матвійчук, асп.

Email: molotokhammer@bigmir.net,

С. Вьжва, д-р геол. наук, проф.

Email: vyzhva\_s@ukr.net

Київський національний університет імені Тараса Шевченка,

УНІ "Інститут геології", ул. Васильківська, 90, г. Київ, 03022, Україна

## ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ТОМОГРАФИЯ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ НЕФТЕГАЗОВОЙ ГЕОЛОГИИ

*Рассматриваются современные подходы к имплементации метода сейсмической томографии – мощного инструмента решения обратной задачи геофизики. Основное внимание уделено применению геофизической томографии для решения задач нефтегазовой промышленности на всех этапах жизни месторождений.*

*Показано, что данный метод может быть успешно использован для инверсии упругих и электрических параметров, анизотропии и т.д. Трехмерное распределение геофизических параметров в исследуемой среде, полученное с помощью томографии, может быть использовано для перехода к геологическим (литологическим) параметрам, таким как минеральный состав и структурно-текстурные особенности, пористость или трещиноватость.*

*Предложен один из возможных вариантов получения с помощью инверсии не геофизических, а непосредственно литологических параметров. Также показано, что томографию можно использовать для интерполяции данных геофизических исследований скважин в межскважинном пространстве.*

**Ключевые слова:** инверсия, геофизическая томография, литологическая томография, методология геофизических исследований.

## ГЕОЛОГІЯ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН

УДК 553.551 (574.4)

Б. Дьячков, д-р геол.-минерал. наук, проф., акад. НАН РК

З. Черненко, канд. геол.-минерал. наук

Email: Zinchernenko@mail.ru,

М. Мизерная, канд. геол.-минерал. наук

Е. Теут, магистр, ст. наук. сотр., инженер-исследователь

Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,

ул. Д. Серикбаева, 19, г. Усть-Каменогорск, Республика Казахстан

### ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД К ВЫДЕЛЕНИЮ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПЛОЩАДЕЙ НА ЗОЛОТОЕ ОРУДЕНЕНИЕ НА ТЕРРИТОРИИ ЗАПАДНОЙ КАЛБЫ (ВОСТОЧНЫЙ КАЗАХСТАН)

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

Геолого-генетическая модель формирования нового для Восточно-Казахстанского региона типа золоторудных месторождений в гидротермально-измененных карбонатных породах базируется на объемном стереометаллогеническом анализе территории Западно-Калбинской и Жарма-Саурской зон. Для этого применялись детальные геолого-геофизические методы исследования с использованием высокоточных анализов, которые дали основание для разработки критериев прогнозирования, поиска и оценки золотосодержащих карбонатных формаций, а также выделения новых перспективных площадей и участков с расчетом ресурсов золота по категориям P<sub>2</sub> и P<sub>3</sub>. В основе этой концепции, помимо изучения геологического строения поверхности Земли, лежит исследование особенностей геологического развития ее глубинных частей. Отсюда и название – объемная металлогения или стереометаллогения.

В связи с проблемой установления возраста и генезиса золоторудных месторождений Западной Калбы выполнен анализ материалов прошлых лет и новых результатов исследований, позволяющий уточнить геотектоническую позицию золотоносных структур и определить возраст золотого оруденения на основании его связи с конкретной рудогенерирующей формацией. В региональном плане известные зоны золоторудной минерализации (Западно-Калбинская, Жана-Боко-Зайсанская и др.) имеют кососекающую позицию относительно традиционного северо-западного направления алтайских структур, пересекают разновозрастные вулканогенно-осадочные и терригенные толщи (от девона до С<sub>2</sub>–С<sub>3</sub>), а сами срезаются и метаморфизуются гранитоидами Калба-Нарымского плутона, то есть имеют докалбинский (допермский) возраст.

По результатам лабораторных исследований, выполненных на современном оборудовании в лабораториях "ИРГЕТАС" ВКГТУ им. Д. Серикбаева, Аналитическом центре ИГМ СО РАН (г. Новосибирск, РФ) и в Музее Естественная Великобритании (г. Лондон), установлено, что в золото-сульфидных рудах (первичных и окисленных) золото находится в свободном состоянии и образует тонкодисперсные включения в пирите и арсенопирите. Размер золотин имеет наноразмерный масштаб и варьирует от первых единиц мкм до 0,1–0,5 мм, цвет его ярко-желтый, пробность высокая (в среднем 935 ‰). По данным рентген-фазового анализа золотоносные джаспероиды состоят в основном из кремнезема и окислов железа. По результатам атомно-абсорбционного анализа золото в них имеет крайне неравномерное распределение (от 0,1 до 33,5 г/т), а содержание серебра невысокое (от 0,06 до 2,66 г/т). По результатам электронной микроскопии получены новые данные о распределении благородных металлов (Au, Ag, Pt, Pd) и сопутствующих халькофильных, редких и редкоземельных элементов в рудах и вмещающих породах и намечены минералы-индикаторы для обнаружения новых рудных объектов.

Ключевые слова: золото, нетрадиционный тип, карбонатные формации, оценка перспектив, Западная Калба, Чарская зона, Восточный Казахстан.

**Постановка проблемы.** Разработка научного обеспечения развития минерально-сырьевой базы для золотодобывающей промышленности Восточного Казахстана в современных рыночных условиях представляется весьма актуальной.

Геолого-генетическая модель формирования нового для Восточно-Казахстанского региона типа золоторудных месторождений в гидротермально-измененных карбонатных породах, базирующаяся на объемном стереометаллогеническом анализе территории Западно-Калбинской и Жарма-Саурской зон с применением детальных геолого-геофизических методов исследования и использованием высокоточных анализов, дает основание для разработки критериев прогнозирования, поиска и оценки золотосодержащих карбонатных формаций, а также выделения новых перспективных площадей и участков с расчетом ресурсов золота по категориям P<sub>2</sub> и P<sub>3</sub>.

**Анализ предыдущих исследований.** По литературным данным, месторождения "карлинского типа" распространены преимущественно на западной окраине Северо-Американской платформы, подверженной в мезозое-кайнозое тектономагматической активизации. Они размещаются в пределах золоторудного пояса Невады (США) и развиты в глинисто-карбонатных и терригенно-глинисто-карбонатных толщах при отсутствии или слабом развитии магматизма. В Западной Калбе в региональном плане устанавливается закономер-

ная приуроченность собственно золоторудных месторождений к Зайсанской сутурной зоне (ЗСЗ), сформированной в центральной части Большого Алтая в стадию герцинской коллизии (С<sub>1</sub>–С<sub>3</sub>) Горноалтайской и Казахстанской окраин литосферных плит континентального типа. Как видно, Калбинские золоторудные месторождения также приурочены к активным окраинам континентальных массивов [1].

С учетом изложенных прогнозно-поисковых критериев произведена предварительная разбивка территории Западной Калбы по степени перспективности на золотое оруденение. Составлена схематическая прогнозная карта листа М-44-XXII масштаба 1:200 000 в виде карты-накладки к металлогенической карте. Выявленные особенности развития Зайсанской сутурной зоны открывают новые возможности для прогнозирования золотого оруденения суздальского и других типов. Выделены площади и участки на Au, Ag, Hg разной степени перспективности, которые на данном этапе исследований рекомендуются для проведения поисково-реvisionsных работ.

**Методика оценки прогнозных площадей.** При оценке перспектив территории учитывались обобщающие прогнозно-металлогенические работы прошлых лет, а также новые металлогенические реконструкции, факторы и критерии, благоприятные для прогноза и поиска золоторудных месторождений. Основные золотоносные

© Дьячков Б., Черненко З., Мизерная М., Теут Е., 2014

структуры сформировались в осевой части Большого Алтая в ЗСЗ, образованной в результате герцинской коллизии и состыковки Казахской и Горноалтайской континентальных окраин. Сутурная зона характеризуется сложным геодинамическим развитием и полиметалльной металлогенией (Cr, Ni, Co, Au, Hg, Ti, Zr). По металлогеническому районированию, ЗСЗ объединяет Западно-Калбинскую и Чарскую зоны [5].

**Причарская площадь** прогнозируется в юго-западной части Западно-Калбинского пояса, в зоне Чарского сутурного шва (рис. 1). Площадь представлена меланжевыми структурами с блоками серпенти-

нитов, базальтовых порфиров и широкими выходами известняков аркалыкской свиты, подверженных гидротермально-метасоматическим изменениям с отдельными рудопроявлениями золота. Площадь вытянута в северо-западном направлении вдоль Чарского глубинного разлома на длину 20 км при ширине от 1 до 4 км. Включает многие кварцевожильные проявления золота (мелкое месторождение Сары-Тау, Дымовка, проявления Китаб-1 и др.), расположенные в аркалыкской свите ( $C_{1V2-3}$ ). Перспективы связываются с изучением минерализованных зон на контакте серпентинитов и известняков.

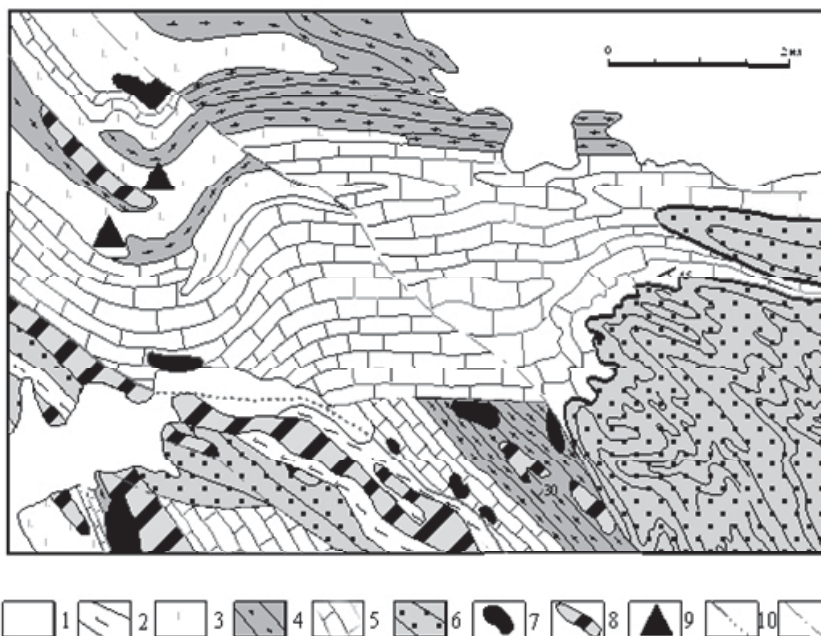


Рис. 1. Геологическое строение Причарской островодужной зоны (фрагмент)

Использованы материалы ТУ "Востказгеология": 1 – рыхлые четвертичные отложения; 2 – протрузии серпентинизированных гипербазитов (PR); 3–5 – базальт-андезитовая известняково-терригенная формация  $C_{1V2-3}$  (3 – андезит-базальты, 4 – углисто-глинистые, кремнистые сланцы, 5 – известняки); 6 – грауваковая олистостромовая формация ( $C_{1S}$ ); 7 – малые интрузии диоритовых порфиров, гранодиорит-порфиров; 8 – зоны гидротермально измененных пород; 9 – золотопроявления; 10 – глубинный разлом; 11 – мелкие разрывы

Рекомендуются поисковые работы для оценки зон гидротермально измененных пород в комплексе геологических, геофизических и геохимических методов. Необходимо составление серии детальных геологических разрезов с тщательным опробованием брекчированных и окварцованных известняков, известковистых углисто-глинистых сланцев, особенно в контактах с дайками интрузивных пород. Для установления содержаний золота рекомендуется выполнение современных методов аналитических исследований на микро- и наноуровне.

**Площадь Байбура** охватывает рудопроявление золота Байбура, проявленного в известняках олистостромового типа (аркалыкская свита). Золотоносными являются зоны гидротермально-измененных пород, представленные скарнированными известняками, окремненными джасперидами и бурыми железняками в зоне окисления. Содержание золота от 1,1 до 12–27 г/т, среднее значение 3–4 г/т. Здесь ожидается обнаружение промышленного объекта суздальского типа. Прогнозные ресурсы золота по зоне Родниковой составляют: категория  $P_2$  до глубины 100 м 3–5 т. Общие ресурсы золота по всей площади – порядка 10 т.

Золотопроявление Байбура расположено в верховьях р. Б. Букони, в 37 км на юго-восток от с. Никитинка Восточно-Казахстанской области (рис. 2). Участок Байбура пространственно приурочен к Сенташ-Курчумскому островодужному поднятию, примыкающему к Те-

ректинскому разлому. Это поднятие подчеркивается скрытыми (на глубине 1–2 км) интрузиями среднекислого состава. На поверхности над ними располагаются рудные узлы Сенташ, Джумба и Кулуджун. Далее к юго-востоку выделяются скрытые диорит-гранодиоритовые массивы, образующие плутон Байбура. В краевой части последнего расположен участок Байбура с золоторудной минерализацией [2–5].

Рудовмещающими являются карбонатно-терригенные отложения аркалыкской свиты,  $C_{1V2-3}$  (песчаники, алевриты, кремнистые сланцы, пелитоморфные и криноидные известняки), которые перекрываются породами аганактинской свиты,  $C_{1S}$  (массивные полимиктовые и вулканомиктовые песчаники с редкими прослоями известняков).

**Форма рудных тел.** Золотоносными являются кварцевидные метасоматиты и скарноиды, образующие в рельефе отдельные гребни и конусообразные выходы с видимой мощностью от 0,5 до 5 м и длиной более 20 м. Разности метасоматитов, обогащенные сульфидами, в зоне окисления представлены бурыми железняками.

На Байбуре и прилегающих территориях золотое оруденение связано с окремненными карбонатными породами, известняками, которые могут встречаться как в монотонных толщах, так и в виде прослоев среди вулканогенно-терригенных, терригенных и вулканогенных отложений. Карбонатные прослои, линзы, подвер-

женные гидротермальной проработке и имеющие кварцитовидный, кремневидный облик, зачастую являются рудовмещающими.

Рекомендуются поисково-оценочные работы I очереди в комплексе с геофизическими, геохимическими и буровыми работами.

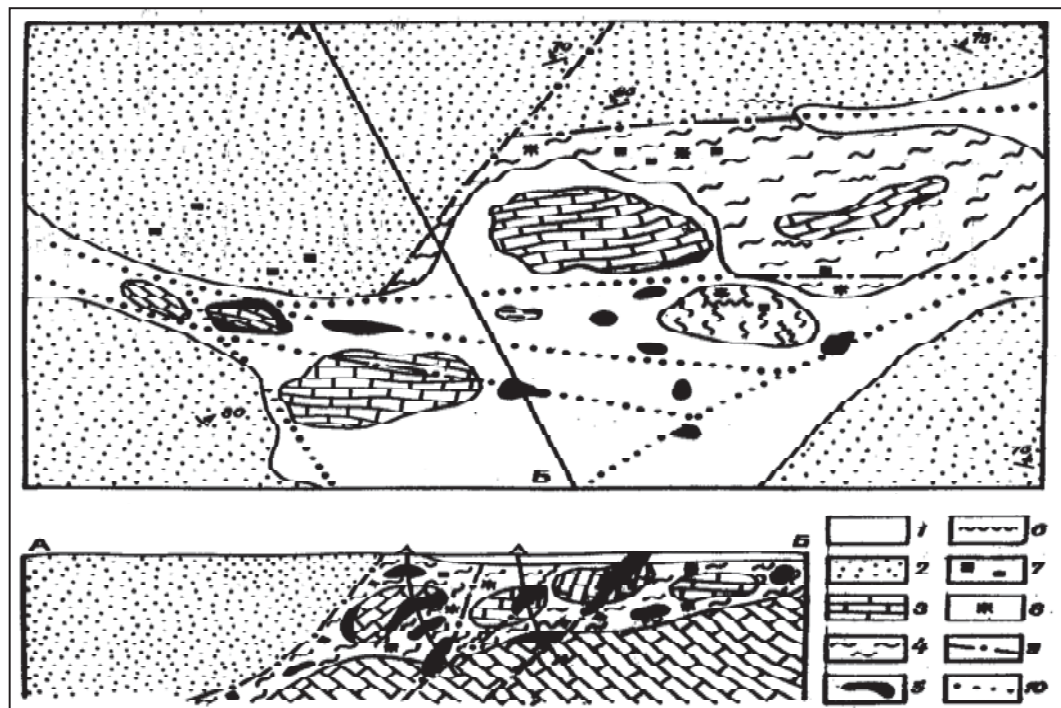


Рис. 2. Схема геологического строения рудопроявления Байбура. Масштаб 1:5000:

- 1 – рыхлые четвертичные отложения, 2 – преимущественно, песчаники аганактинской свиты ( $C_1s$ ); 3 – известняки и 4 – углисто-глинистые и кремнистые алевролиты аркалыкской свиты ( $C_1V_{2-3}$ ); 5 – фрагментарные выходы золотоносных джаспероидов и кварцитоподобных метасоматитов; 6 – кварцевые прожилки; 7 – пиритизация; 8 – обохренность; 9 – разломы достоверные и предполагаемые под рыхлыми отложениями

**Восточно-Байбуринская площадь.** Расположена в восточной части Байбуринского массива известняков (лист М-44-106-Б). В тектонически нарушенных известняках прослеживаются дайки диоритовых порфиров, известны проявления золота и марганца неясной формационной принадлежности. Наиболее перспективна приконтактная зона известняков с геохимическими ореолами As, Mn и проявлениями золота, приуроченными к разлому северо-западного простирания (рис. 3). Геологическая позиция близка к перспективному рудопроявлению Байбура. Рекомендуется проведение поисковых маршрутов, геологических разрезов, а также отбор проб на различные виды анализов. Предполагается выявление золоторудного объекта суздальского типа. Прогнозные ресурсы золота, по аналогии с рудопроявлением Байбура, могут составить на каждом объекте по категориям  $P_3$  – 5–10 т, а всего по площади порядка 30 т.

Таким образом, рассматриваемый участок Байбура в региональном плане размещается в перспективной рудоконцентрирующей структуре (Западно-Калбинской золоторудной зоне) и приурочен к надинтрузивной зоне скрытого гранитоидного массива. Такая благоприятная геолого-структурная позиция является одним из ведущих критериев для обнаружения в этом районе нового золоторудного месторождения.

**Прогнозные ресурсы.** В итоге исследований произведен предварительный подсчет прогнозных ресурсов по зоне Родниковой, исходя из её длины 700 м, вероятной мощности с повышенной рудоконцентрацией (5 м), принятой глубины 50 м и среднего содержания золота 5 г/т:  $700 \times 5 \times 50 \times 5 \times 2,6 = 2275000$  г или 2,275 т. При подсчете на глубину 100 м (по геофизическим данным, протяженность рудной зоны на глубину более 100 м)

прогнозные ресурсы могут быть увеличены в два раза (до 4–5 т). По другим зонам общие ресурсы составляют 3–5 т. Таким образом, суммарные прогнозные ресурсы золота по участку Байбура – около 10 т.

В целом по участку Байбура получены положительные результаты, заключающиеся в уточнении морфологии и параметров рудоносных зон, выявлении рудных тел с повышенным содержанием золота (более 5–10 г/т). Обоснована возможность обогащения руд гравитационным и флотационным методами. Ожидается выявление промышленного золоторудного объекта с легкообогащаемыми рудами, которые по аналогии с известными месторождениями (Суздальское, Жанан, Долонсай) могут рентабельно обрабатываться по методу кучного выщелачивания.

**Рекомендации по направлению дальнейших работ.** Для выяснения масштабыности золотого оруденения с поверхности и на глубину на участке Байбура рекомендуется проведение поисково-оценочных работ (I очереди).

Баладжальская площадь охватывает северо-западные фланги одноименного месторождения. Оруденение аналогично месторождениям Суздальское, Бригадное, Мариновское. Имеются общегеологические предпосылки и многочисленные прямые признаки для обнаружения золотого оруденения в зонах листвинитизации [2–5].

Прогнозные ресурсы (по А. М. Мыслику) оцениваются по удельной продуктивности Суздальского рудного поля и составляют до глубины 300 м: категория  $P_1$ : руда – 2667 тыс. т, золото – 16 т при среднем содержании 6 г/т; категория  $P_2$ : руда – 3833 тыс. т, золото – 23 т при среднем содержании 6 г/т. На всей площади рекомендуется провести поисковые работы масштаба 1:25 000 – 1:10 000 первой очереди.

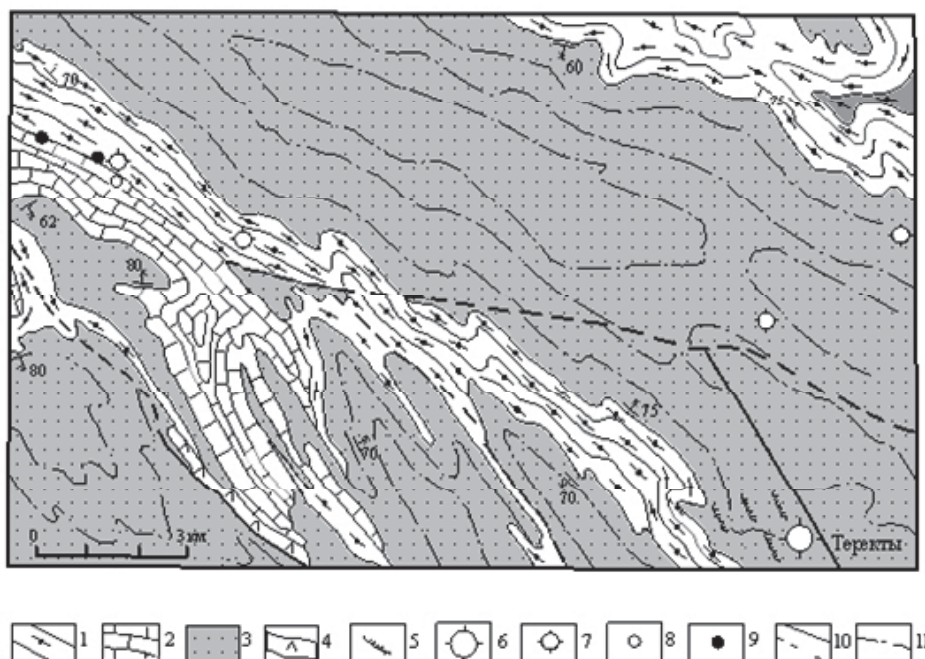


Рис. 3. Геологическая карта-врезка восточного фланга участка Байбура

С использованием материалов ТУ "Востказнедра": 1–5 – геологические формации: 1 – углисто-глинистые, кремнистые сланцы и 2 – известняки аркалыкской свиты ( $C_1V_{2-3}$ ), 3 – граувакковая олистостромовая формация ( $C_1s$ ), 4 – диоритовые порфиры, 5 – кварцевые жилы; 6–8 – кварцевожилные золоторудные объекты: 6 – месторождение, 7 – рудопроявления, 8 – точка минерализации; 9 – точка минерализации марганцевых руд; 10 – тектонические нарушения: установленные и предполагаемые; 11 – структурные линии в осадочных толщах

Суздальское месторождение расположено в 60 км к юго-западу от г. Семипалатинск, в юго-восточном экзоконтакте Семейтауской вулcano-тектонической постройки. Пространственно размещается на границе Чарской и Западно-Калбинской металлогенических зон. Является представителем золотосульфидно-кварцевой формации и золотоносных остаточных кор выветривания.

Основанием для выделения послужили геохимические аномалии (Sb, Ag, Hg, Zn) и развитие золотоносных позднекаменноугольных малых интрузий и даек на северо-западном продолжении Западно-Калбинского золоторудного пояса. Именно в пределах рекомендованного нами участка работами Горностаевской партии Алтайской геолого-геофизической экспедиции (ПГО "Востказгеология") при проведении групповой геологи-

ческой съемки масштаба 1:50 000 в 1983 г были выявлены Суздальское месторождение золота и ряд рудопроявлений (В. А. Денисенко, Н. Т. Дряпач).

Месторождение характеризуется сложным геологическим строением и развитием большого количества разрывных нарушений разных направлений, дополняемых общим интенсивным раздроблением отдельных толщ и блоков. Изучение структуры участка осложнено развитием каолиновых кор выветривания и общей плохой обнаженностью; около 90 % территории закрыто рыхлыми кайнозойскими отложениями.

В строении месторождения принимают участие отложения аркалыкской ( $C_1V_{2-3}$ ), аганактинской ( $C_1s$ ), майтубинской ( $C_{2-3}$ ) и семейтауской ( $T_1 ?$ ) свит (рис. 4–6).

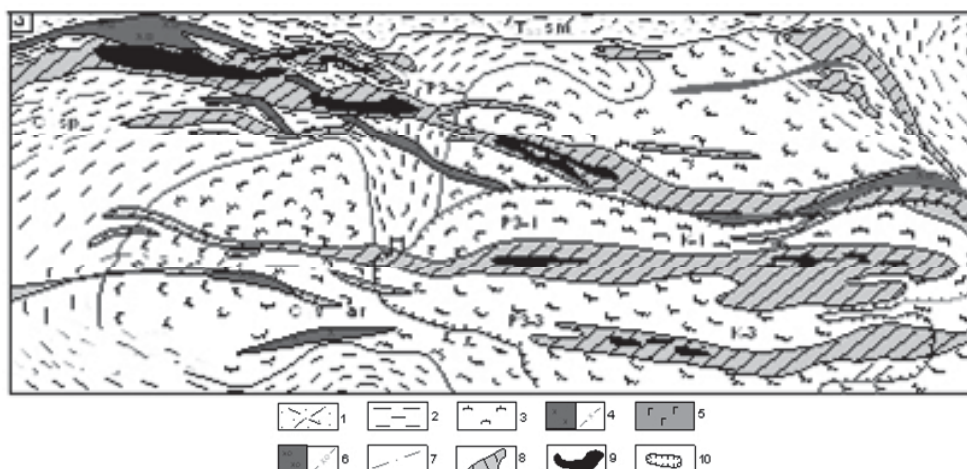


Рис. 4. Геологическое строение Суздальского месторождения (рудные зоны 1, 2, 3):

1 – туфопесчаники  $T_1sm$ ; 2 – алевриты и песчаники  $C_1s$ ; 3 – углистые алевриты аркалыкской свиты ( $C_1V_{2-3}$ ); 4–6 интрузивы  $T_1$ : 4 – гранитоиды, 5 – габброиды, 6 – гранит-порфиры; 7 – разломы; 8, 9 – зоны золоторудной минерализации: 8 – Au 0,1–2,0 г/т, 9 – Au > 2,0 г/т; 10 – контуры карьера;  $P_3$  – рудная зона, К – карьер

Рекомендуются поисково-оценочные работы I очереди в комплексе с геофизическими, геохимическими и буровыми работами.

Участок Койтас прогнозируется в юго-западной части листа М-44-XXII, расположен в северном экзоконтакте одноименного гранитоидного массива, в зоне

влияния Байгузин-Булакского разлома. Здесь известны проявления золото-сурьмяного оруденения (Суурлы, Койтас), флюоритовой минерализации (рудопоявление Флюоритовое), ассоциирующие с фрагментарными выходами известняков аркалыкской свиты.

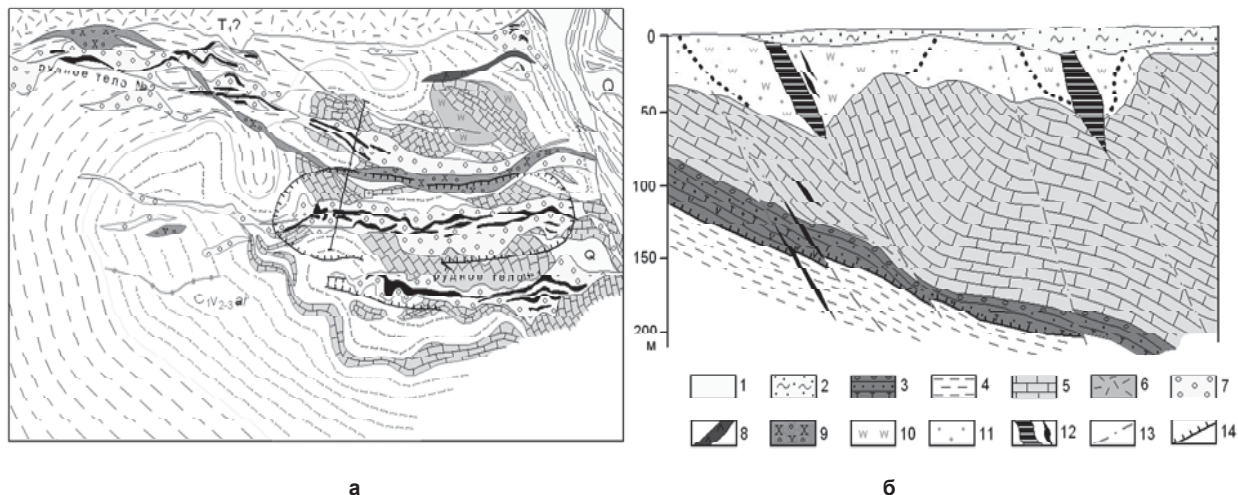


Рис. 5. Геологическое строение Суздальского месторождения: а – план, б – разрез

(по материалам И. В. Бегаева, В. А. Денисенко):

- 1 – рыхлые четвертичные и 2 – неогеновые отложения; 3–5 – аркалыкская свита, С<sub>1</sub>В<sub>2-3</sub>;
- 3 – туфогенно-песчановая пачка с прослоями андезито-дацитов, 4 – углисто-глинистые сланцы,
- 5 – известняки, известковистые алевролиты; 6 – вулканиты семейтауской свиты; 7 – зоны золото-сульфидной минерализации;
- 8 – дайки диоритовых порфиров и 9 – гранодиорит-порфиров; 10 – зоны окварцевания;
- 11 – золотоносные коры выветривания; 12 – рудные тела; 13 – разрывные нарушения; 14 – надвиг

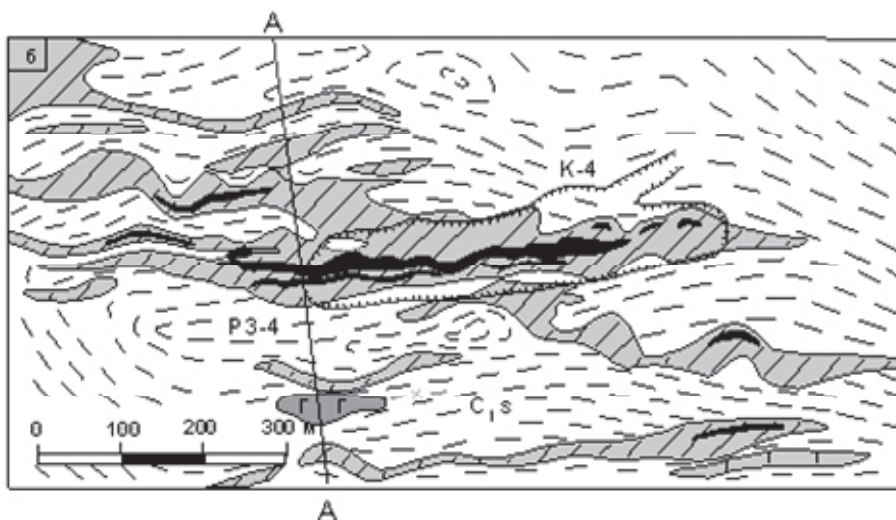


Рис. 6. Геологическое строение Суздальского месторождения (рудная зона 4)

На ряде зарубежных месторождений золота апокарбонатного типа флюоритовая минерализация проявляется обычно во внешней зоне рудной колонны. С этих позиций целесообразно продолжить оценочные работы на участке Койтас с отбором проб из бурых железняков, известняков и флюоритовой минерализации. Прогнозные ресурсы определяются по аналогии с Суздальским месторождением до глубины 100 м от поверхности. Категория Р<sub>3</sub>, золота 10 т при среднем содержании 5 г/т. Рекомендуется проведение поисковых работ в комплексе геологических, геофизических и геохимических методов.

Площадь Жайма выделяется в пределах одноименного рудного поля в Чарско-Зимунайской зоне. В геологическом строении рудного поля (рис. 7, 8) принимают участие терригенно-кремнисто-карбонатные,

вулканогенно-карбонатные и терригенные осадочные отложения (песчаники, алевролиты, известняки, яшмиды, кремнистые сланцы, кварциты, базальтоиды, туфопесчаники) возрастом от D<sub>3</sub> до С<sub>2-3</sub>. Интрузивные образования представлены редкими дайками гранит-порфиров кунушского комплекса (С<sub>3</sub>).

Широко развиты коры выветривания, преимущественно каолинит-гидрослюдистого состава, мощностью от 1 до 100 м и более. Главная структурная особенность рудного поля заключается в значительной меланжированности слагающих его толщ. Это характеризуется интенсивным дроблением, брекчированием, будинированием, милонитизацией различных горных пород в реликтовых складчатых блоках, испытавших как продольные, так и диагональные перемещения.

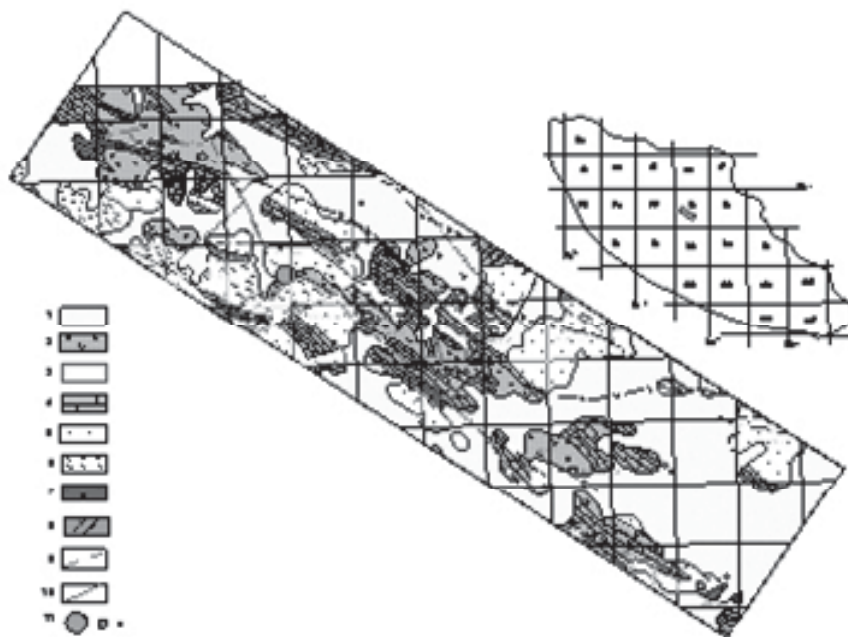


Рис. 7. Геологическая карта участка Жайма:

- 1 – современный отдел, пески, илы, суглинки с дресвой (Q); 2 – средний-верхний отдел, андезибазальтовые порфиры и их туфы ( $C_{2-3}$ ); 3 – нижний отдел, визейский ярус, 4 – известняки, 5 – средне- и мелкозернистые песчаники, 6 – алевролиты ( $C_{1v2-3}$ ); 7 – гранит-порфиры ( $\gamma п C_3$ ); 8 – дайки среднего и основного состава ( $\mu \beta C_{2-3}$ ); 9–10 – разрывные нарушения: 9 – по дешифрованию, 10 – достоверные; 11 – месторождения, рудопроявления и точки минерализации золота

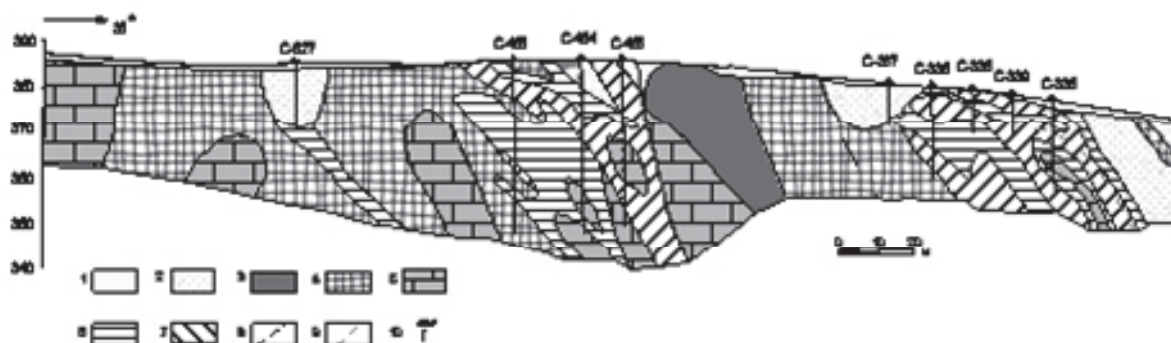


Рис. 8. Месторождение Жайма

Поперечный геологический разрез. По материалам И. Г. Тверянкина, В. Н. Майорова (1999).

Масштаб: вертикальный 1: 500, горизонтальный 1:1000:

- 1 – аллювий; 2 – элювий (коры выветривания); 3 – базальт; 4 – известковые песчаники, алевролиты; 5 – известняки; 6 – ореолы околорудных забалансовых руд (джаспероиды) (Au 0,1–0,99 г/т); 7 – минерализованные рудные зоны (Au 1 > 10 г/т); 8 – разломы; 9 – граница элювия; 10 – скважины с содержанием золота

Протяженность рудного поля около 10 км при ширине выхода толщ измененных пород 0,4–1,5 км. Оно объединяет золоторудные проявления Жайма-1, Логовое, Жайма-2, Жайма-3, Жетык, Космола и ряд рудных точек и ореолов, в изучение и оценку которых большой вклад внесли В. П. Кадач, Д. Я. Кудрявцев, В. И. Товченко, А. Е. Степанов, В. Н. Майоров, В. И. Мамин и др. (1977–1995).

На этих объектах рудные тела представлены минерализованными зонами и линзами протяженностью от 100 до 900 м при мощности 2025 м. Они фиксируются первичными и вторичными ореолами As, Sb, Au. Содержание золота варьирует от 0,1 до 3,2 г/т. Рудная минерализация – вкрапленная, вкраплено-гнездовая и прожилковая, представлена пиритом, арсенопиритом и антимонитом. Пространственно приурочена к олистостромовой толще (аркалыкская свита), сложенной олистолистами кремнистых сланцев, яшм, известняков и базальтов, и проявляется в метасоматических образованиях.

Рудные тела локализованы в кварц-слюдисто-карбонатных метасоматитах по катаклазированным и

брекчированным кремнистым породам, алевролитам, калькаренитам, долеритам, оливинным базальтам. Обнаруживается приуроченность золотого оруденения к контактовым зонам тел базальтов, линзам известняков и дайковым телам. На проявлении Жайма-3 в контактовых частях известняков наблюдаются линзы джаспероидов.

По ряду объектов (Жайма-1, Жайма-2, Игл) произведена оценка ресурсов золота в 2,7 т при среднем содержании 1,62 г/т. Верхняя часть рудных тел обрабатывалась карьерным способом (до глубины 16–23 м), всего добыто порядка 500 кг золота.

Таким образом, зоны минерализации имеют сложную внутреннюю морфологию, обусловленную размещением оруденения в дробленных породах, где зачастую оруденение обтекает отдельные глыбы вмещающих пород, максимально концентрируясь в трещинах скола и отрыва, на контактах различных пород, в зонах дробления в известняках, известковистых песчаниках, базальтах, джаспероидах. Содержание металла изменяется от 0,01 до нескольких граммов на тонну и более.

Обогащенные золотом интервалы отмечены в местах повышенного содержания тонкокристаллических сульфидов в виде тонких прожилков и пятен, часто силифицированных. На многих интервалах отмечается интенсивная трещиноватость и дробление оруденелых пород. Вертикальная и горизонтальная зональность не проявлена, золотое оруденение бескорневое, обрывается на флангах и по мощности рудных тел. Повидимому, рудные тела на рудном поле находятся в аллохтонном залегании. Этот фактор необходимо учитывать при проведении поисковых работ в Чарском офиолитовом поясе.

Перспективы рудного поля могут быть расширены за счет проведения поисковых работ на флангах рудопроявлений Жетык, Аркалык и Жайма-2. Прогнозные ресурсы золота по категории  $P_2 - 3$  т.

*Северо-западный фланг Мукурской золоторудной зоны.* Мукурская зона северо-западного направления ( $280-330^\circ$ ) имеет протяженность более 60 км при ширине 9–12 км. Характеризуется многочисленными проявлениями первичного и остаточного золота, из которых наиболее значимыми являются месторождения Жерек, Восточный Семейтау, Центральный Мукур, Тас-Кудук, Восточный Мукур, расположенные в центральной и юго-восточной частях этой зоны.

С учетом новых представлений о геодинамическом и металлогеническом развитии Западно-Калбинского золоторудного пояса и входящих в него рудных зон, мы считаем, что Мукурская зона на своем северо-западном фланге срезается вулканитами более молодой Семейтауской постройки. Кроме прямых геологических соотношений, это подтверждается обнаружением месторождения Мираж на западном экзоконтакте Семейтауской постройки. Поэтому предполагается продолжение Мукурской зоны к северо-западу от гор Семейтау. Прогнозные ресурсы золота по категории  $P_3$  могут составлять 100–200 т.

**Площадь Жайма** выделяется в пределах одноименного рудного поля в Чарско-Зимунайской зоне. На этих объектах рудные тела представлены минерализованными зонами и линзами протяженностью от 100 до 900 м при мощности 2025 м. Они фиксируются первичными и вторичными ореолами As, Sb, Au. Содержание золота варьирует от 0,1 до 3,2 г/т. Обнаруживается приуроченность золотого оруденения к контактовым зонам тел базальтов, линзам известняков и дайковым телам. На проявлении Жайма-3 в контактовых частях известняков наблюдаются линзы джаспероидов.

По ряду объектов (Жайма-1, Жайма-2, Игл) произведена оценка ресурсов золота в 2,7 т при среднем содержании 1,62 г/т. Верхняя часть рудных тел обрабатывалась карьерным способом (до глубины 16–23 м), всего добыто порядка 500 кг золота.

Перспективы рудного поля могут быть расширены за счет проведения поисковых работ на флангах рудопроявлений Жетык, Аркалык и Жайма-2. Прогнозные ресурсы золота по категории  $P_2 - 3$  т.

Научная новизна полученных результатов. С позиций мобилизма общие закономерности формирования золоторудных месторождений карлинского типа заключаются в образовании их в коллизионной геодинамической обстановке континентальных окраин, покровно-надвиговых структурах и офиолитовых поясах, включающих блоки и отторженцы олистостромовых известняков, часто повышенной углеродистости. Золото концентрируется преимущественно в известняках, подверженных метасоматическим изменениям (декарбонатизация, окремнение и окварцевание) в зонах меланжи-

рования и под влиянием гипабиссальных малых интрузий и даек с образованием скарированных и окварцованных пород, джаспероидов и аргиллитов. Золото-сульфидные руды характеризуются тонковкрапленным и дисперсным золотом, макроскопически не выразительны, поэтому рудные тела выделяются, в основном, по результатам опробования и лабораторных анализов. Главные рудные минералы – пирит, арсенопирит и золото, сопутствующими являются антимонит, реальгар, киноварь, барит, флюорит и др. Элементами-индикаторами апокарбонатного типа золотого оруденения служат Au, Ag, As, Sb, Hg. Таким образом, в настоящее время в геологии определилось новое приоритетное направление фундаментальных научно-исследовательских и геологоразведочных работ по прогнозированию и поиску крупных золоторудных месторождений карлинского типа. Обнаружение подобных объектов в разных странах уже привело к резкому увеличению мировых запасов золота [3–4].

В Восточном Казахстане к карлинскому типу золотого оруденения близки месторождения Суздальское, Жанан, Мираж, а также некоторые участки и объекты в Чарской и Западно-Калбинской металлогенических зонах.

В результате сопоставления с мировыми аналогами в США, Китае, России, Узбекистане и других странах выявляется определенное сходство по ряду ведущих признаков суздальского апокарбонатного типа месторождений Восточного Казахстана с промышленным карлинским типом золотого оруденения, руды которого рентабельно обрабатываются по методу кучного выщелачивания. Эти данные резко повышают перспективность нашего региона на обнаружение новых крупных золоторудных месторождений [6–13].

*Практическая значимость результатов исследований.* На основании проведенных исследований, анализа и обобщения материалов прошлых лет по золоторудной металлогении разработаны прогнозно-поисковые критерии и предпосылки для выявления нового апокарбонатного типа золотого оруденения в геологических структурах Восточного Казахстана (типы месторождений Суздальского, Мираж, рудопроявлений Байбура, Мариновское и др.).

В итоге исследований в результате обобщения прогнозно-металлогенических работ прошлых лет и новых геолого-металлогенических реконструкций произведена прогнозная оценка перспектив Чарской и Западно-Калбинской зон. Составлены сводная прогнозная карта Зайсанской сутурной зоны масштаба 1:500 000, прогнозная карта – накладка листа М-44-XIV масштаба 1:200 000 и прогнозная карта центральной части Чарской зоны масштаба 1:50 000.

Оценка прогнозных ресурсов приводится по категориям,  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ . Прогнозируемые ведущие типы оруденения: золотосульфидно-кварцевый апокарбонатный островодужного типа (суздальский или карлинский) и золото-мышьяково-углеродистый (бакырчикский), связанный с молассовой формацией черносланцевого типа, а также золото-кварцевый (кулуджунский) тип, ассоциирующийся с морскими малоуглеродистыми граувакковыми отложениями, и мезозойский золотоносных кор выветривания. Полученные результаты отражают фундаментальность исследований и подтверждают высокие перспективы выявления в карбонатных формациях региона нетрадиционных типов месторождений с тонкодисперсным и свободным золотом, которые могут иметь промышленное значение и рентабельно обрабатываться с применением современных технологий.

Большое научное и практическое значение придаётся области сочленения Горноалтайской и Казахской континентальных окраин, где выделяется Зайсанская сутурная зона с осевым Чарско-Горностаевским швом и концентрируются главные золоторудные структуры региона. Здесь прогнозируется крупный Восточно-Казахстанский золоторудный пояс, северо-западный и юго-восточный фланги которого ещё недостаточно изучены. В этой связи с учётом изложенных методических подходов имеется определённый потенциал дальнейшего развития научно-исследовательских работ в теоретическом и прикладном аспектах, направленных на укрепление сырьевой базы для золотодобывающей промышленности Восточного Казахстана.

**Выводы.** Такое научное направление открывает новые возможности для укрепления и развития минерально-сырьевой базы золотодобывающей промышленности Восточного Казахстана, чем и определяется теоретический и практический потенциал приводимых нами фундаментальных исследований по программе Министерства образования и науки Республики Казахстан. Наиболее перспективной представляется Зайсанская сутурная зона, включающая Чарско-Горностаевский офиолитовый пояс и хаотические блоки разновозрастных известняков островного типа, подверженных гидротермально-метасоматическим изменениям в зонах меланизирования и разрывных структурах. Рекомендуется проведение детальных прогнозно-металлогенических работ на современном научно-техническом уровне с выполнением палеогеодинамических реконструкций, применением новых методов геофизических работ и минерально-геохимического картирования и использованием высокоточной аналитической базы.

#### Перечень использованных источников

1. Radtke A. S. Geology of the Carlin gold deposit / A. S. Radtke // Nevada, Professional Paper, U.S. Geological Survey. – 1985. – 1267.
2. Дьячков Б. А. Геологические условия формирования и размещения золоторудных месторождений апокарбонатного типа Восточного Казахстана : монография / Б. А. Дьячков, З. И. Черненко, Н. П. Майорова, М. А. Мизерная, О. Н. Кузьмина. – Усть-Каменогорск : ВКГУ, 2011. – 136 с.
3. D'yachkov B.A., Chernenko Z.I., Mayorova N.P., Mizernaya M.A., Kuzmina O.N., (2011). Geological conditions of apocarbonatite gold ores origin and distribution of East Kazakhstan [Geologicheskie usloviya formirovaniya i razmescheniya zolotorudnykh mestorozhdeniy apokarbonatnogo tipa Vostochnogo Kazakhstana]. VKGTU, Ust-Kamenogorsk - EKSTU, Ust-Kamenogorsk, 136 p.
4. Дьячков Б. А. Нетрадиционные источники золотого оруденения Восточного Казахстана / Б. А. Дьячков, З. И. Черненко, О. Н. Кузьмина // Инновационные технологии в геологических исследованиях : сб. докл. науч.-практ. конф., посвященной 75-летию Е. М. Селифонова, 21.01.2005. – Алматы, 2005. – С. 76–78.
5. D'yachkov B.A., Chernenko Z.I., Kuzmina O.N., (2005). Unconventional of source of gold ores of East Kazakhstan [Netradicionny'e istochniki zolotogo orudneniya Vostochnogo Kazakhstana]. Innovacionny'e tehnologii v geologicheskikh issledovaniyah, Sbornik dokladov nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyaschennoy 75-letiyu E.M. Selifonova – Innovation technology in geological researches, Comp. Sc. Works of scientist-practical conf. dedicated 75 Anniv. of E.M. Selifonov, Almaty, 76-78.
6. Дьячков Б. А. Металлогения золота Восточного Казахстана / Б. А. Дьячков, Н. П. Майорова, З. И. Черненко, О. Н. Кузьмина : материалы Всерос. конф. "Самородное золото, типоморфизм минеральных ассоциаций, условия образования месторождений, задачи прикладных исследований". – М. : ИГЕМ РАН, 2010. – Т. I. – С. 187–189.
7. D'yachkov B.A., Mayorova N.P., Chernenko Z.I. et al., (2010). Metallogeny of gold in East Kazakhstan [Metallogeniya zolota Vostochnogo Kazakhstana]. Mater. Vseros. Konf. "Samorodnoe zoloto, tipomorfizm mineral'nykh assotsiatsiy, usloviya obrazovaniya mestorozhdeniy, zadachi prikladnykh issledovaniy" IGEM RAN. – Mater. of All-United Conf. "Native gold, typomorphism of mineral associates, origin of ores and applied tasks", IGEM RAS, Moscow, Vol. I, 187-189.
8. Дьячков Б. О металлогенической специализации гранитоидов Калбы (Восточный Казахстан) / Б. Дьячков, Н. Майорова, З. Черненко, Е. Теут :

материалы Междунар. науч. конф. "Роль высших учебных заведений в развитии геологии", Киев, Украина, 31 марта – 3 апр. 2014 г. – С. 59–61.

D'yachkov B.A., Mayorova N.P., Chernenko Z.I. Teut E.V., (2014). On metallogenic specialization of Kalba (East Kazakhstan) [O metallogenicheskoy spetsializatsii granitoidov Kalby (Vostochnyy Kazakhstan)]. Materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: Rol vysshikh uchebnykh zavedeniy v razvitii geologii – Abstracts of the International scientific conference "Role of higher educational institutions in geology development", 31.03-03.04.2014, Kiev, Ukraine, 59-61.

7. Жаутиков Т. М. Металлогения и эволюционная направленность рудного процесса на месторождениях золота Казахстана / Т. М. Жаутиков : материалы Всерос. конф. "Самородное золото, типоморфизм минеральных ассоциаций, условия образования месторождений, задачи прикладных исследований". – М. : ИГЕМ РАН, 2010. – Т. I. – С. 193–195.

Zhautikov T.M., (2010). Metallogeny and evolutionary trend of the ore process on gold deposits in Kazakhstan [Metallogeniya i evolyutsionnaya napravlenost rudnogo protsessa na mestorozhdeniyah zolota Kazakhstana]. Materialy Vserossiyskoy konferentsii "Samorodnoe zoloto, tipomorfizm mineralnykh assotsiatsiy, usloviya obrazovaniya mestorozhdeniy, zadachi prikladnykh issledovaniy" – Abstracts of All-Russian Conference "Native gold, typomorphism of mineral associations, conditions of origin of deposits, the task of applied researches, M. IGEM RAS, Vol. 1, 193-195.

8. Калинин Ю. А. Золотоносные коры выветривания / Ю. А. Калинин, Н. А. Росляков, С. Г. Прудников. Новосибирск : Академ. изд-во "Гео", 2006. – 399 с.

Kalinin Yu.A., Roslyakov N.A., Prudnikov S.G., (2006). Gold-bearing crust of weathering [Zolotonosnyye kory vyvetrivaniya]. Novosibirsk: Akademicheskoe izdatelstvo "Geo" - Novosibirsk Academic Publishing House "Geo", 399.

9. Рафаилович М. С. Золото недр Казахстана: геология, металлогения, прогнозно-поисковые модели / М. С. Рафаилович. – Алматы, 2009. – 304 с.

Rafailovich M.S., (2009). Gold of Kazakhstan subsurface resources: geology, metallogeny, forecast-searching model [Zoloto neдр Kazakhstana: geologiya, metallogeniya, prognoznno-poiskovyye modeli]. Almaty - Almaty, 304.

10. Рафаилович М. С. Нетрадиционные месторождения золота Казахстана / М. С. Рафаилович. Геонаука в Казахстане // Докл. казахстанских геологов. – Алматы : КазГЕО, 2004. С. 159–176.

Rafailovich M.S., (2004). Unconventional gold deposits in Kazakhstan [Netraditsionnyye mestorozhdeniya zolota Kazakhstana] Geonauki v Kazakhstane: (Doklady kazakhstanikh geologov). Almaty: "KazGEO". - Earth Sciences in Kazakhstan (Kazakh Geologists Reports), Almaty, "KazGeo" Publishing, 159-176.

11. Черненко З. И., Карбонатные формации Восточного Казахстана : монография / З. И. Черненко. – Усть-Каменогорск, ВКГУ, 2005. – 74 с.

Chernenko Z.I., (2005). Carbonate formations in East Kazakhstan [Karbonatnyye formatsii Vostochnogo Kazakhstana]. VKGTU, Ust-Kamenogorsk - EKSTU, Ust-Kamenogorsk, 74.

12. Цой В. Д. О роли карбонатных пород в формировании различных рудно-формационных типов месторождений Средней Азии / В. Д. Цой, И. В. Королева, В. В. Сваровская, Д. В. Шнырев : материалы науч. конф., посвященной 90-летию акад. Х. М. Абдулаева. – Ташкент : Фан, 2002. С. 57–59.

Tsoy V.D., Koroleva I.V., Svarovskaya V.V., Shnyrev D.V., (2002). On the role of carbonate rocks in the formation of various ore deposit formation types in Central Asia [O roli karbonatnykh porod v formirovani razlichnykh rudno-formatsionnykh tipov mestorozhdeniy Sredney Azii]. Materialy nauchnoy konferentsii, posvyaschennoy 90-letiyu akademika H.M. Abdulaeva. Tashkent, Fan - Abstracts of scientific conference devoted to the 90th anniversary of academician H.M. Abdulaeva, Fan Publishing, Tashkent, 57-59.

13. Цой В. Д. Апокарбонатная модель формирования золотого оруденения Узбекистана / В. Д. Цой : материалы Всерос. конф. "Самородное золото, типоморфизм минеральных ассоциаций, условия образования месторождений, задачи прикладных исследований". – М. : ИГЕМ РАН, 2010. – Т. II. – С. 289–291.

Tsoy V.D., (2010). Apocarbonatite model of the gold mineralization of Uzbekistan [Apokarbonatnaya model formirovaniya zolotogo orudneniya Uzbekistana]. Materialy Vserossiyskoy konferentsii "Samorodnoe zoloto, tipomorfizm mineralnykh assotsiatsiy, usloviya obrazovaniya mestorozhdeniy, zadachi prikladnykh issledovaniy", M. IGEM RAN - Abstracts of All-Russian Conference "Native gold, typomorphism of mineral associations, conditions of origin of deposits, the task of applied researches, M. IGEM RAS, Vol. II, 289-291.

Надійшла до редколегії 08.10.14

B. Diachkov, Dr.Sci. (Geol.-Min.), Prof., Academician of NAS RK  
Z. Chernenko, Cand. Sci. (Geol.-Min.)  
E-mail: Zinchernenko@mail.ru,  
M. Mizernaya, PhD  
E.V. Teut, MSc, Senior Research Fellow, Research Engineer  
Serikbaev East Kazakhstan State Technical University,  
19 D. Serikbaeva Str., Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

#### IDENTIFYING PROSPECTIVE GOLD MINERALIZATION AREAS IN WESTERN KALBA (EASTERN KAZAKHSTAN): AN INNOVATIVE APPROACH

*A new type of gold deposits in Eastern Kazakhstan is gold ores commonly found in hydrothermally altered carbonate rocks. We have suggested a geological-genetic model of their origin based on a volumetric stereo-metallogenic analysis of West Kalba and Zharna-Saur zones. Use has been made of comprehensive geologic-geophysical methods and high-precision analyses to develop criteria for predicting, prospecting and evaluating gold-carbonate formations, as well as identifying new prospective areas having category P2 and P3 gold resources. In addition to describing the geological structure of the Earth's surface, this model applies to exploring its deeper strata, hence the term "volumetric or stereo metallogeny".*

*Our research into the genesis of gold deposits in Western Kalba has yielded more accurate data on the geotectonic position of the gold-bearing structures and the age of gold mineralization, there being a connection between typical gold associations and particular ore parent formations. The local gold mineralization zones (West Kalba, Zhana-Boko-Zaisan), whose position is obliquely counter relative to the traditional north-westerly direction of the Altai structures, intersect the volcanic-sedimentary and terrigenous strata of different age (from Devonian to C<sub>2-3</sub>). These gold-bearing zones are cut and metamorphosed by the Kalba-Naryn Pluton granitoids, which points to their Pre-Permian age.*

*The results of the laboratory tests performed on modern equipment in the laboratories IRGETAS D.Serikbaev EKSTU, analytical centers of IGM SB RAS (Novosibirsk, Russia) and the Natural History Museum in the UK (London) showed that gold-sulfide ores (primary and oxidized) contain free gold in the form of fine particles in pyrite and arsenopyrite. The nanoscale gold particle sizes range from microns to 0,1–0,5 mm. The gold particles are bright yellow in color and high purity (an average of 935 ‰). According to the X-ray diffraction analysis, the gold-bearing jasperoids are composed mainly of silica and iron oxides. The results of the atomic absorption analysis of rocks showed that gold has a very uneven distribution (from 0,1 to 33,5 g/t), while the silver content is low (from 0,06 to 2,66 g/t). Electron microscopy yielded new data on the distribution of noble metals (Au, Ag, Pt, Pd), associated chalcophiles and rare earth elements in the ores and host rocks, as well as mineral indicators for identifying new ore deposits.*

**Keywords:** gold, unconventional type of gold mineralization, carbonate formation, assessment of the prospects, West Kalba, Charskaya zone, Eastern Kazakhstan.

Б. Дячков, д-р геол.-мінерал. наук, проф., академік НАН РК  
З. Черненко, канд. геол.-мінерал. наук  
E-mail: Zinchernenko@mail.ru,  
М. Мізерна, канд. геол.-мінерал. наук  
Є. Теут, магістр, старш. наук. співроб., інженер-дослідник  
Східно-Казахстанський державний технічний університет ім. Д. Серікбаєва,  
вул. Д. Серікбаєва, 19, м. Усть-Каменогорськ, Республіка Казахстан

#### ІННОВАЦІЙНИЙ ПІДХІД ДО ВИДІЛЕННЯ ПЕРСПЕКТИВНИХ ПЛОЩ НА ЗОЛОТЕ ЗРУДЕНІННЯ НА ТЕРИТОРІЇ ЗАХІДНОЇ КАЛБИ (СХІДНИЙ КАЗАХСТАН)

*Геолого-генетична модель формування нового для Східно-Казахстанського регіону типу золоторудних родовищ у гідротермально змінених карбонатних породах базується на об'ємному стереометалогенічному аналізі території Західно-Калбінської і Жарма-Саурської зон. Для їхнього вивчення застосовувалися детальні геолого-геофізичні методи дослідження і високоточні аналізи, які дають підставу для розробки критеріїв прогнозування, пошуку та оцінки золотовмісних карбонатних формацій, а також виділення нових перспективних площ і ділянок з розрахунком ресурсів золота за категоріями P2 і P3. В основі цієї концепції, крім вивчення геологічної будови поверхні Землі, лежить вивчення особливостей геологічного розвитку її глибинних частин. Звідси й її назва – об'ємна металогенія або стереометалогенія.*

*У зв'язку з проблемою вивчення віку і генезису золоторудних родовищ Західної Калби виконано аналіз матеріалів минулих років і результатів нових досліджень, що дозволив уточнити геотектонічну позицію золотонесних структур і визначити вік золотого зруденіння на підставі його зв'язку з конкретною рудогенеруючою формацією. У регіональному плані відомі зони золоторудної мінералізації (Західно-Калбінська, Жана-Бок-Зайсанська та ін.) мають кососічну позицію щодо традиційного північно-західного напрямку алтайських структур, перетинають різновікові вулканогенно-осадові і теригенні товщі (від девону до C<sub>2-3</sub>), а самі зрізаються і метаморфізуються гранітоїдами Калба-Наримського плутону, тобто мають докалбінський (допермський) вік.*

*За результатами лабораторних досліджень, виконаних на сучасному обладнанні в лабораторіях "ІРГЕТАС" ВКГТУ ім. Д. Серікбаєва, Аналітичному центрі ІГМ СО РАН (м. Новосибірськ, РФ) і в Музеї Природознавства Великої Британії (м. Лондон), встановлено, що в золото-сульфідних рудах (первинних і окислених) золото перебуває у вільному стані й утворює тонкодисперсні включення в піриті і арсенопіриті. Розмір золотин має нанорівневий масштаб і варіює від перших одиниць мкм до 0,1–0,5 мм, колір його яскраво-жовтий, прозорість висока (в середньому, 935‰). За даними рентгенофазового аналізу, золотонесні джаспероїди складаються, в основному, з кремнезему і окислів заліза. За результатами атомно-абсорбційного аналізу, золото в них має край нерівномірний розподіл (від 0,1 до 33,5 г/т), а вміст срібла невисокий (від 0,06 до 2,66 г/т). За результатами електронної мікроскопії отримано нові дані про розподіл благородних металів (Au, Ag, Pt, Pd) і супутніх халькофільних, рідкісних і рідкісноземельних елементів у рудах і вміщуючих породах і намічено мінерали-індикатори для виявлення нових рудних об'єктів.*

**Ключові слова:** золото, нетрадиційний тип золоторудного зруденіння, карбонатні формації, оцінка перспектив, Західна Калба, Чарська зона, Східний Казахстан.

УДК 553.98:550.8.477.5

М. Дудніков, заст. нач. відділу  
Департамент з видобування газу та нафти  
Національної акціонерної компанії "Нафтогаз України",  
вул. Б. Хмельницького, 6, м. Київ, 01601, Україна,  
Email: MDudnikov@naftogaz.com

В. Михайлов, д-р геол. наук, проф.  
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,  
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна,  
Email: vladvam@gmail.com

## ГАЗОНОСНІСТЬ УЩІЛЬНЕНИХ ПОРІД АРТЕМІВСЬКОЇ ПЛОЩІ В ПІВДЕННО-СХІДНІЙ ЧАСТИНІ ДНІПРОВСЬКО-ДОНЕЦЬКОЇ ЗАПАДИНИ

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

Метою статті є розгляд особливостей геологічної будови та нафтогазоносності Артемівської площі, де під час проведення геологорозвідувальних робіт у минулі роки було отримано прямі ознаки газоносності московських відкладів середнього карбону. Застосована авторами методика всебічного аналізу матеріалів промислово-геофізичних досліджень, що включала комплексну інтерпретацію даних геофізичних досліджень у свердловині, газового каротажу, випробувань пластів, результатів лабораторних досліджень керна, описів шліфів, дозволила виділити значну кількість газонасичених ущільнених пластів-колекторів. Отримані результати дозволяють стверджувати, що Артемівська площа є перспективним об'єктом щодо відкриття нового родовища газу неконвекційного типу. Наукова новизна роботи полягає в тому, що завдяки проведенню дослідженням доведено нафтогазоносність ущільнених порід середнього карбону в південно-східній частині Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ). Ці відклади раніше вважалися безперспективними. Результати роботи дозволяють рекомендувати проведення аналогічних досліджень на сусідніх площах у цій зоні. Підтвердження нафтогазоносності Артемівської площі дозволяє збільшити ресурсну базу вуглеводнів усієї південно-східній частині ДДЗ. Практичне застосування рекомендацій авторів статті в комплексі із сучасними технологіями розвідки та видобутку вуглеводнів дадуть можливість відкрити нові родовища газу і збільшити обсяги його видобутку.

**Ключові слова:** Дніпровсько-Донецька западина, Артемівська площа, пласт-колектор, kern, ГДС, органічна речовина, газонасиченість.

**Постановка проблеми.** Геологорозвідувальні роботи на нафту і газ у Східному нафтогазоносному регіоні України проводяться довгий час. Завдяки ним було відкрито велику кількість родовищ вуглеводнів з різною величиною запасів. Однак деякі площі через різні об'єктивні й суб'єктивні обставини було визнано безперспективними стосовно нафтогазоносності. З розвитком сучасних технологій розвідки та видобування вуглеводнів з'являються можливості для відкриття нових родовищ

нафти і газу шляхом повторного дослідження ділянок надр, у межах яких минулими роками було отримано непромислові припливи вуглеводнів. Однією з таких ділянок є Артемівська площа, розташована на території Артемівського району Донецької області (рис. 1) у межах Бахмутської улоговини в південно-східній частині Дніпровсько-Донецької западини. Застосування сучасних технологій проведення геологорозвідувальних робіт дасть можливість відкрити тут родовище газу.



Рис. 1. Оглядова карта Артемівської площі

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** З метою вивчення регіональної газоносної товщі нижньої пермі, верхнього і середнього карбону, оцінки продуктивності вуглеводневих пасток структурно-літологічного типу в 2003–2005 рр на Артемівській площі було пробурено параметричну свердловину Артемівська-1 глибиною 4500 м (горизонт С<sub>2</sub>м) [1]. Після завершення буріння в свердловині проведено стаціонарне випробування семи об'єктів в інтервалі

залягання московських відкладів середнього карбону. Загальний інтервал випробування становив 3342–4498 м. Один об'єкт виявився ущільненим, але за результатами випробування шести об'єктів встановлено прямі ознаки газоносності розкритого свердловиною розрізу. Зокрема, при випробуванні 5-го об'єкта (рис. 2) в інтервалі 3676–3690 м приплив газу становив 400 м<sup>3</sup>/д, а максимальний тиск був: трубний – 124 атм, затрубний – 74 атм [2]. У подальшому через

відсутність промислових припливів газу свердловину було ліквідовано.

Для уточнення геологічної будови у свердловині виконувалися дослідження методом вертикального сейсмічного профілювання (ВСП). За його результатами

було уточнено попередні структурні побудови, встановлено зміщення положення апікальної частини структури в південно-східному напрямку та наявність розлому з південно-східним падінням (рис. 2).

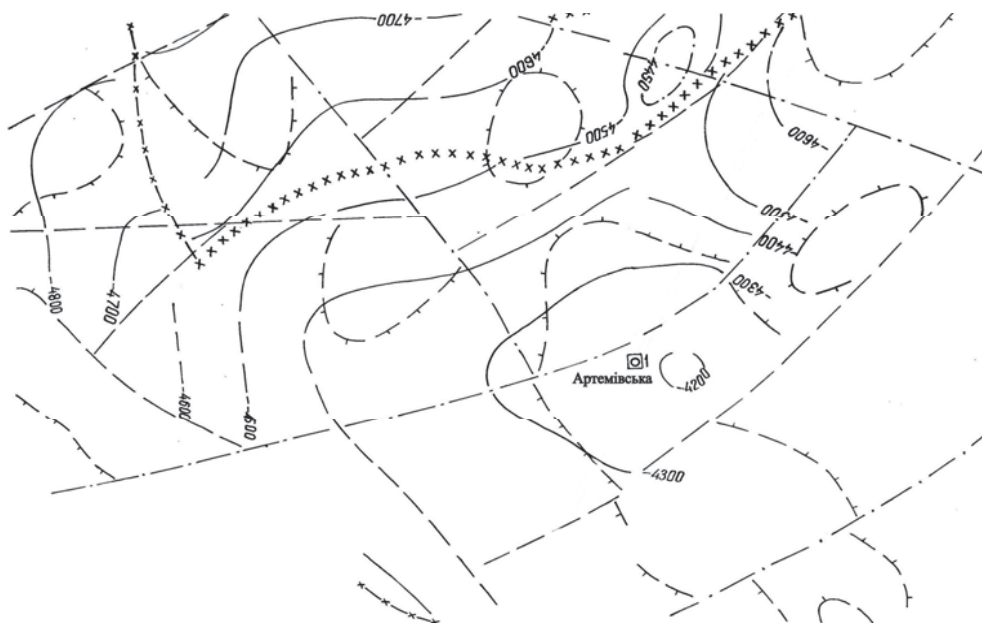


Рис. 2. Структурна карта Артемівської площі по башкирських відкладах середнього карбону

**Ціль статті.** Головним завданням статті є перегляд матеріалів промислово-геофізичних досліджень для обґрунтування наявності в розрізі свердловини газонасичених ущільнених пластів-колекторів. На основі багаторічного досвіду вивчення нетрадиційних джерел газу [5] встановлено, що основними методами їхніх досліджень мають бути геофізичні дослідження й геохімічний аналіз керн свердловин.

**Виклад основного матеріалу.** У процесі випробування свердловини припливи газу було отримано з ущільнених пісковиків і алевролітів московського ярусу (коефіцієнт пористості 3–11 %). За результатами газового каротажу підвищеною газонасиченістю характеризуються також проміжні інтервали, складені аргілітами, інколи вугленосними. Отже, весь загальний інтервал випробування 3342–4498 м, складений перешаруванням пісковиків, алевролітів і аргілітів, в якому спостерігалися значні збільшення концентрації вуглеводнів, можна вважати слабогазонасиченим.

Повторний аналіз промислово-геофізичних даних інтервалу 4136–4500 м свердловини Артемівська-1 дає можливість зробити висновки про те, що ця частина розрізу представлена чергуванням теригенних глинисто-піщаних порід московського ярусу середнього карбону з прошарками мергелів. Породи в основному мають низькі колекторські характеристики. Типовими породами є аргіліти, алевроліти й пісковики. Аргіліти, як правило, сірі алевроїтні, текстура пологохвилясто-шарувата, зустрічаються тонкі прошарки вуглистого і слюдистого матеріалу, місцями – лінзоподібні конкреції залізного карбонату. Алевроліти – сірі до темно-сірих, зцементовані вапняково-глинистим цементом. Текстура шарувата, інколи косошарувата, підкреслюється тонкими (до 1–2 см) прошарками чорного вуглистого аргіліту. Місцями відзначаються відбитки рослин. Пісковики – щільні сірі до світло-сірих, тонкозерністі, міцно зцементовані глинисто-вапняковим і глинистим цементом. Текстура шарувата, хвилясто-шарувата, підкреслюється тонкими прошарками чорного вуглисто-глинистого матеріалу. У помітних

кількостях зустрічаються рештки рослинного детриту. Значення пористості в породах московського ярусу коливаються в межах 0,9–3,6 % (аргіліти), 1,1–3,4 % (пісковики й алевроліти). Карбонатність змінюється від 0 до 5,8 % (аргіліти) і до 15,3 % (пісковики й алевроліти). Випробування зразків у лабораторних умовах часто супроводжувалося розтріскуванням [3].

Результати інтерпретації кривих стандартного комплексу каротажу з урахуванням матеріалів лабораторних досліджень керн дозволяють зробити висновки про наявність товщ з високим вмістом глинистого матеріалу в інтервалі досліджень (рис. 3). Тут вміст органічного вуглецю (ТОС) від 0 до 7,6 %. Під час проведення газового каротажу спостерігалися підвищені значення газопоказань ( $G_{\text{сум}}$ , %) у пластах, які за промислово-геофізичними характеристиками віднесено до неколекторів, у інтервалах: 4397–4398,5 ( $G_{\text{сум}}$  0,62), 4400–4410 ( $G_{\text{сум}}$  0,1), 4414–4421 ( $G_{\text{сум}}$  0,2), 4429–4436 ( $G_{\text{сум}}$  0,32). Збільшені газопоказання свідчать про ймовірну наявність природного газу, що є одним з аргументів позитивної оцінки вивчених відкладів як потенційного джерела вуглеводнів [3].

Аналіз результатів комплексної інтерпретації даних ГДС, газового каротажу, випробувань пластів, результатів лабораторних досліджень керну, описів шліфів дозволяє виділити в розрізі свердловини Артемівська-1 перспективні потенційно газонасичені інтервали з підвищеним вмістом органічної речовини (табл. 1).

У перспективних інтервалах розрізу геофізичні та літологічні характеристики диференційовані по вертикалі, що є додатковою позитивною ознакою здатності порід до утворення тріщинної проникності при технологіях вилучення природного газу. Відсутність водоносних пластів-колекторів в інтервалі 3059–4500 м (рис. 4) дозволяє говорити про потенційну газонасиченість даної частини розрізу Артемівської площі. Крім цього, наявність потужної товщі без водоносних прошарків дає можливість провести інтенсифікацію припливу газу в привибійний простір свердловини за допомогою гідророзриву пласта (ГРП).

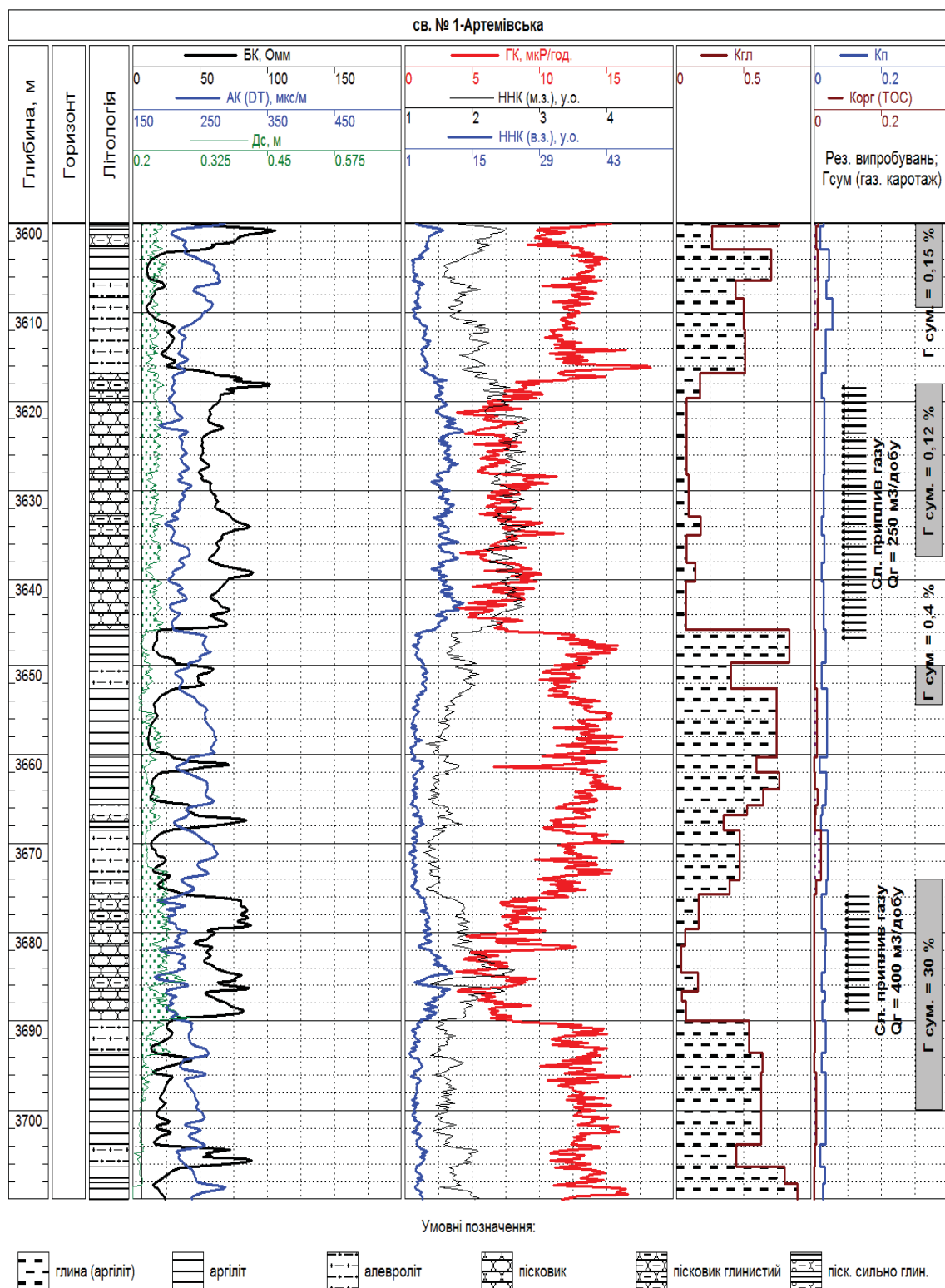


Рис. 3. Результати переінтерпретації даних ГДС у розрізі св. Артемівська-1 (інт. 3600–3710 м) [3]

Таблиця 1

Перспективні газонасичені інтервали з підвищеним вмістом органічної речовини

| Інтервал  | Потужність, м | Кгл  | Кп    | Корг. | Породи            |
|-----------|---------------|------|-------|-------|-------------------|
| 4198–4220 | 22            | 0,53 | 0,023 | 0,022 | Аргіліт           |
| 4291–4331 | 40            | 0,54 | 0,025 | 0,021 | Аргіліт           |
| 4361–4366 | 5             | 0,67 | 0,024 | 0,062 | Аргіліт           |
| 4376–4383 | 7             | 0,55 | 0,023 | 0,024 | Аргіліт           |
| 4385–4388 | 3             | 0,67 | 0,024 | 0,066 | Аргіліт           |
| 4399–4404 | 5             | 0,55 | 0,017 | 0,029 | Аргіліт           |
| 4415–4422 | 7             | 0,37 | 0,018 | 0,042 | Аргіліт–алевроліт |
| 4496–4500 | 4             | 0,42 | 0,017 | 0,03  | Аргіліт–алевроліт |

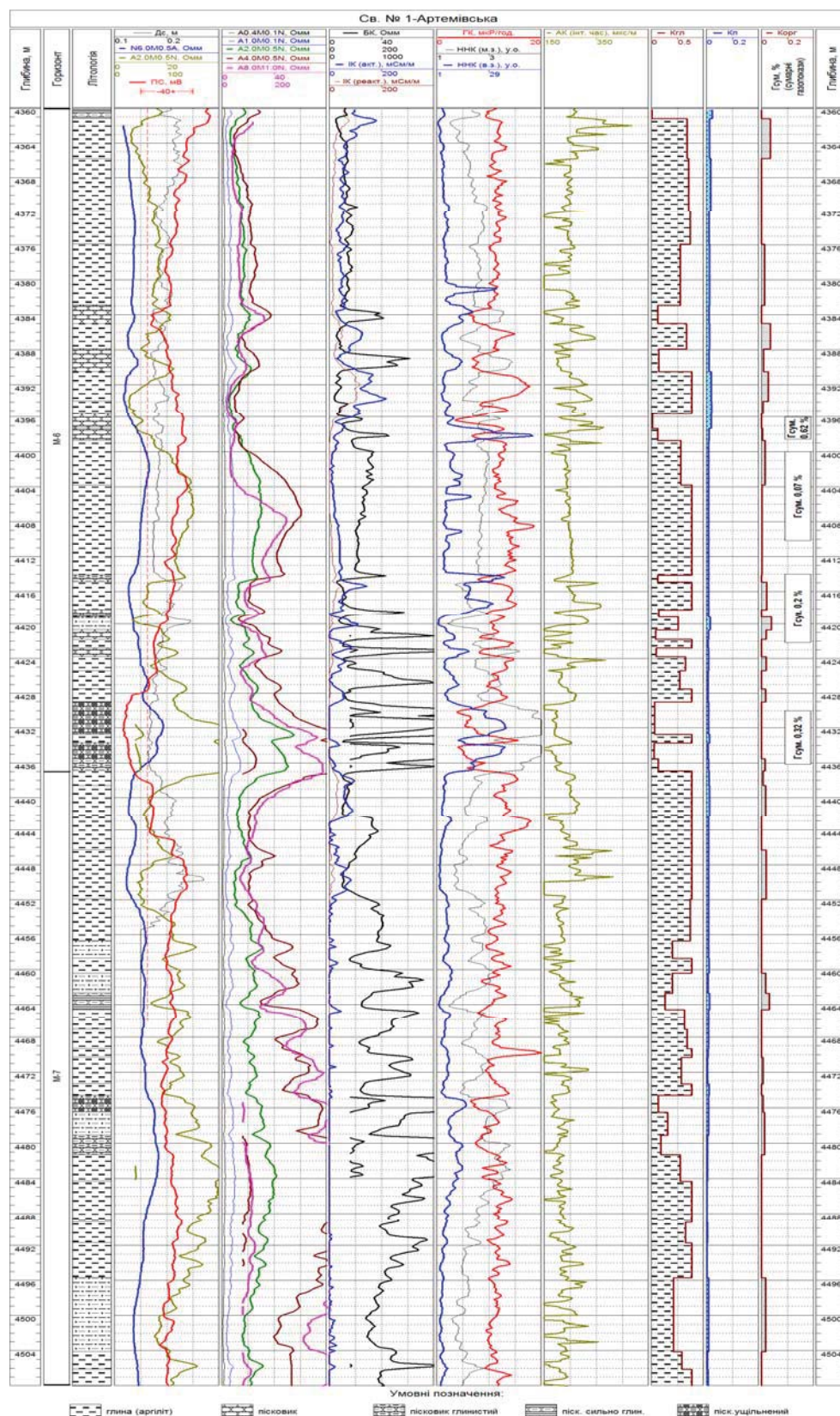


Рис. 4. Результати переінтерпретації даних ГДС св. Артемівська-1 (інт. 4360-4504 м) [3]

У процесі випробування св. Артемівська-1 інтенсифікація припливу флюїду методом ГРП не проводилася. Тобто на даному етапі геологічного вивчення при застосуванні ГРП у свердловинах у межах Артемівської площі можливе отримання промислового припливу газу як з низькопористих (ущільнених) пісковиків, так і зі сланцевих товщ, що виділені за результатами перегляду промислово-геофізичної інформації. Прогнозні ре-

сурси газу Артемівської площі було оцінено в 4505 млн м<sup>3</sup> газу [4]. З урахуванням потужності відкладів, перспективних на ущільнений газ, ці обсяги можуть збільшитись майже вдвічі.

**Висновки.** Ураховуючи результати ВСП, для уточнення геологічної моделі Артемівської структури необхідно провести додаткові сейсморозвідувальні роботи 2D, з метою подальшого освоєння вуглеводневого по-

тенціалу розпочати будівництво свердловин з обов'язковим проведенням інтенсифікації припливу методом ГРП. При плануванні процесу ГРП необхідно враховувати оптимальний об'єм і в'язкість рідини, що закачується в свердловину, тиск нагнітання, кількість і тип хімічних добавок. Планування потрібно здійснювати на основі попереднього моделювання цього процесу на основі петрофізичних і геофізичних досліджень розрізу.

#### Список використаних джерел

1. Макогон В. та ін. Звіт про геологічні результати буріння свердловини Артемівська 1 / В. Макогон та ін. – Чернівці : ЧВ УкрДГПІ, 2010.  
Makogon V., (2010). Report on the geological results of the drilling well Artemivsk 1. Chernigiv. (In Ukrainian)
2. Дудніков М. С., (2012). Перспективи нафтогазоносності Південно-Східної частини Дніпровсько-Донецької западини / М. С. Дудніков // Вісн. Київ. нац. ун-ту ім. Т. Г. Шевченка. Сер. Геологія. – № 58. – С. 36–40.

M. Dudnikov, Deputy Head of Department  
E-mail: MDudnikov@naftogaz.com  
National Joint-Stock Company "Naftogaz of Ukraine",  
6 B. Khmel'nitskogo Str., Kyiv, 01601 Ukraine,  
V. Mykhailov, Dr. Sci. (Geol.), Prof.  
Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv,  
90 Vasylkivska Str., Kyiv, 03022 Ukraine,  
E-mail: vladvam@gmail.com

### GAS CONTENT OF THE ARTEMIVSK AREA TIGHT ROCKS IN THE SOUTHEASTERN DNIEPER-DONETSK DEPRESSION

*The purpose of the article is to consider the geological structure and oil and gas content of the Artemivsk area. Previous geological exploration revealed traces of oil and gas in the Middle Carbonic Moscovian sediments. A complex analysis of field geophysical survey data allowed the authors to identify numerous gas saturated tight reservoirs in the Artemivsk area. The technique included a complex interpretation of well-logging and mud-logging data, results of core analysis and a description of thin rock sections. The obtained results suggest that there is a strong likelihood of discovering new unconventional gas fields in the Artemivsk area.*

*There has been confirmed the presence of oil and gas in the tight Middle Carbonic rocks of the southeastern Dnieper-Donetsk Depression. These sediments were earlier considered as lacking prospects of having hydrocarbon deposits, hence the scientific novelty of the research. Further inquiry concerning the adjacent subsurface sites can be expected to produce new interesting findings. The presence of oil and gas in the Artemivsk area, which has been identified, expands the hydrocarbon resource base of the southeastern Dnieper-Donetsk Depression. A practical application of the authors' recommendations combined with modern hydrocarbon exploration and production technologies will facilitate detecting new gas fields and increase its production.*

**Keywords:** Dnieper-Donetsk Depression, Artemivsk area, reservoir, core, log, organic compound, gas saturation.

Н. Дудніков, зам. начальника отдела  
E-mail: MDudnikov@naftogaz.com,  
Департамент добычи нефти и газа  
Национальной акционерной компании "Нефтегаз Украины",  
ул. Б. Хмельницкого, 6, г. Киев, 01601, Украина,  
В. Михайлов, д-р геол. наук, проф.  
E-mail: vladvam@gmail.com  
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,  
УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина

### ГАЗОНОСНОСТЬ УПЛОТНЕННЫХ ПОРОД АРТЕМОВСКОЙ ПЛОЩАДИ В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ДНЕПРОВСКО-ДОНЕЦКОЙ ВПАДИНЫ

*Целью статьи является рассмотрение особенностей геологического строения и нефтегазоносности Артемовской площади. Ранее, при проведении геологоразведочных работ, были получены прямые доказательства газонасности московских отложений среднего карбона. Применение методики комплексного анализа промыслово-геофизической информации дало авторам возможность выделить на Артемовской площади большое количество газонасыщенных уплотненных пластов-коллекторов. Методика включала комплексную интерпретацию данных геофизических исследований в скважинах, газового каротажа, опробования пластов, результатов лабораторных исследований керна и описания шлифов. Полученные результаты позволяют утверждать, что Артемовская площадь – это перспективный объект для открытия нового месторождения газа неконвекционного типа. Научная новизна работы заключается в том, что благодаря проведенным исследованиям доказана нефтегазоносность уплотненных пород среднего карбона в юго-восточной части Днепро-Донецкой впадины (ДДВ). В прошлом эти отложения считались неперспективными и возможность открытия в них углеводородных месторождений не рассматривалась. Результаты работы позволяют рекомендовать проведение аналогичных исследований на соседних участках недр. Подтверждение факта газонасности на Артемовской площади позволяет увеличить ресурсную базу углеводородов всей юго-восточной части ДДВ. Практическое применение рекомендаций авторов, в комплексе с современными технологиями разведки и добычи углеводородов, даст возможность открыть новые месторождения газа и увеличить объемы его добычи.*

**Ключевые слова:** Днепро-Донецкая впадина, Артемовская площадь, пласт-коллектор, керн, ГИС, органическое вещество, газонасыщенность.

Dudnikov M.S., (2012). Perspectives of oil and gas possibilities in south-eastern part of Dniprovsko-Donetsk depression. Visnyk of Kyiv university: Geology, 58, 36-40. (In Ukrainian)

3. Михайлов В. А. Звіт про науково-дослідну роботу "Перспективи газонасності ущільнених порід нафтогазоносних басейнів України" / В. А. Михайлов, Ю. З. Крупський та ін. – К. : ТОВ "Евроконтракт ЛТД", 2011.

Mihailov V., Krupskiy Y., (2011). Perspectives of gas-contains unconsolidated rocks of oil and gas basins of Ukraine. Kyiv. (In Ukrainian)

4. Головашкін А. Проект на буріння параметричної свердловини на Артемівській площі / А. Головашкін, В. Бабаєв та ін. – Харків : УкрНДІ-газ, 2001.

Golovashkin A., Babaev V., (2001). The project on the parametric drilling wells in Artemovsk area. Kharkiv. (In Ukrainian)

5. Boyer Ch. Producing Gas from its Source / Ch. Boyer, J. Kieschnik, R. Cuarez-Rivera, R. E. Lewis, G. Waters // Oilfield Review, Autumn, 2006. – P. 36–49.

Надійшла до редколегії 20.10.14

## ГІДРОГЕОЛОГІЯ, ІНЖЕНЕРНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ

УДК 556.388.556.18

І. Удалов, канд. техн. наук, доц.  
E-mail: igorudalov8@gmail.com  
Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна  
пл. Свободи, 4, м. Харків, Україна  
Д. Чомко, канд. геол. наук, доц.  
E-mail: Chomko@univ.kiev.ua  
ННІ "Інститут геології",  
Київський національний університет імені Тараса Шевченка  
вул. Володимирська, 60, м. Київ, Україна,

**ЕКОЛОГО-ГІДРОГЕОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ  
У ЗВ'ЯЗКУ ІЗ "МОКРОЮ" КОНСЕРВАЦІЄЮ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ  
(НА ПРИКЛАДІ АЛМАЗНО-МАР'ІВСЬКОГО ГІРНИЧОПРОМИСЛОВОГО РАЙОНУ ДОНБАСУ)**

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, доц. О. Є. Кошляковим)

Наведено опис наслідків реалізації програми виведення з експлуатації нерентабельних вугільних шахт Донбасу шляхом їхньої "мочної" консервації. Територію досліджень є Алмазно-Мар'ївський гірничопромисловий район (ГПР) як найбільш репрезентативний за складністю геологічних умов і масштабами інженерно-господарської діяльності. Визначено основні чинники виникнення несприятливих і небезпечних процесів при закритті шахт Алмазно-Мар'ївського ГПР.

У процесі досліджень визначено комплекс потенційно небезпечних процесів і явищ, що супроводжує зміну природно-техногенної ситуації в умовах виведення шахт з експлуатації. Показано, що основний вплив на еколого-геологічні характеристики природно-техногенних систем мають еколого-гідрогеологічні чинники і пов'язані з ними процеси газо-, масо-, енергоперенесення. Систематизація даних дозволила визначити, що під впливом локальних джерел техногенного навантаження в зонах концентрації шахт у підземній гідросфері сформувалася гідродинамічна система, яка характеризується взаємозв'язком водоносних горизонтів як за площею, так і у вертикальному розрізі.

Складність і багатofакторність проблем, викликаних "мочною" консервацією вугільних шахт, розглянуто на прикладі закриття шахти "Пролетарська" і розташованого в безпосередній близькості Світличанського водозабору. Проаналізовано води шахтного водовідливу шахт, розташованих в Алмазно-Мар'ївському ГПР, встановлено можливість використання вод у бальнеології. Обґрунтовано, що контроль за динамікою зміни характеристик підземних вод в умовах виведення шахт з експлуатації носить багатоплановий характер.

Визначено, що основна зміна якісного складу підземних вод на площі Світличанського водозабору викликана багаторічною фільтрацією в питний водоносний горизонт високомінералізованих, хлоридних за аніонним складом шахтних вод шахти "Пролетарська". Установлено, що закриття шахти "Пролетарська" посилює процеси газової міграції в районі Світличанського водозабору, у пробах підземних вод виявлено наявність радону. Отримані результати можуть стати основою для створення інформативної моніторингової системи на локальному та регіональному рівнях.

**Ключові слова:** нерентабельні вугільні шахти, "мочна" консервація, гідродинамічна система, шахта "Пролетарська", Світличанський водозабір, Алмазно-Мар'ївський гірничопромисловий район.

**Вступ.** На Донбасі у зв'язку з більш ніж 200-річним розвитком вугільної промисловості склалася вкрай несприятлива екологічна обстановка. Про це свідчить техногенна зміна геологічного середовища на площі понад 15 тис. км<sup>2</sup> у межах територій Донецької, Луганської та Дніпропетровської областей. Становище різко погіршується послідовною реалізацією програми виведення нерентабельних шахт з експлуатації, причому здебільшого шляхом їхньої "мочної" консервації.

Однією з найбільших територій реструктуризації вугільної промисловості є Алмазно-Мар'ївський гірничопромисловий район. Як Донбас загалом, так і Алмазно-Мар'ївський ГПР зокрема за складністю геологічних умов і масштабами інженерно-господарської діяльності є унікальним [1].

Визначено, що основними чинниками виникнення несприятливих і небезпечних процесів при закритті шахт Алмазно-Мар'ївського ГПР шляхом їхньої "мочної" консервації є:

- розломно-блокова структура масивів гірських порід із хвильовим характером переміщення блоків;
- моноклінальне залягання багатощарової, літологічно неоднорідної товщі кам'яновугільних відкладів;
- порушення напруженого стану масивів гірських порід на відпрацьованих територіях, особливо на ділянках покинутих дрібних виробок;
- повсюдне поширення насипних ґрунтів (відвали гірських порід, звалища господарсько-побутових і промислових відходів);
- велика кількість гідротехнічних споруд (хвостосховища, шламонакопичувачі, відстійники і т. ін.);

- наявність розчинних порід і порід, що змінюють свої властивості при намочуванні та обводненні;
- одночасне формування депресійних ліжок на одних ділянках і підтоплення інших;
- зміна хімічного складу підземних і поверхневих вод унаслідок тривалої роботи шахтного водовідливу.

Ураховуючи все це, можна констатувати, що виведення з експлуатації нерентабельних шахт шляхом їхньої "мочної" консервації призведе до порушення природно-техногенної системи, що склалася за період багаторічного освоєння території вуглевидобувною промисловістю.

**Мета.** Виявлення та узагальнення чинників впливу "мочної" консервації вугільних шахт на еколого-гідрогеологічний стан навколишнього середовища Алмазно-Мар'ївського ГПР з метою оптимізації складових частин комплексної системи моніторингу довкілля в умовах виведення шахт з експлуатації.

**Постановка завдання.** Для досягнення мети необхідно розв'язати такі завдання:

- виявлення факторів впливу "мочної" консервації вугільних шахт на геологічне середовище Алмазно-Мар'ївського ГПР;
- систематизація еколого-гідрогеологічних даних щодо впливу закриття вугільних шахт на стан навколишнього середовища і зокрема підземної гідросфери;
- визначення цільових завдань комплексної системи моніторингу довкілля Алмазно-Мар'ївського ГПР в умовах виведення шахт з експлуатації.

Відомо, що гірничі роботи, які включають проходку шахтних стволів, підготовчих і очисних виробок, впли-

вають на міцнісні характеристики породного масиву і стан підземної гідросфери. Виявлено, що в результаті відпрацювання значних територій реакція підземної гідросфери виражається в значному зниженні рівнів підземних вод. Це, у свою чергу, призводить до зникнення джерел, осушення колодязів, зменшення підземного живлення річок і в кінцевому результаті – до зниження стійкості породного масиву. Усі ці процеси загалом на Донбасі мають регіональний характер і вже трансформували більшість компонентів навколишнього природного середовища.

**Методика.** Під час проведення "мокрої" консервації шахт регіону через деякий час фіксується погіршення стану підземних і поверхневих вод. Це особливо небезпечно за наявності сусідства шахти та водозабору питних вод. У процесі проведених досліджень визначено, що зміни сформованої природно-техногенної ситуації в умовах виведення шахт з експлуатації за всієї своєї масштабності супроводжуватимуться цілим комплексом потенційно небезпечних процесів і явищ:

- посиленням гідродинамічного впливу на масиви ґрунтів при їх намочуванні;
- істотним збільшенням водовідливу на діючих шахтах;
- зміною хімічного складу підземних вод, у т. ч. і вод, що використовуються для господарсько-питного водопостачання;
- загальним регіональним підтопленням території;
- обводненням ґрунтів, зміною їхніх фізико-механічних властивостей, ослабленням структурних зв'язків у ґрунтах, активізацією суфозійних процесів;
- нерівномірним осіданням поверхні з деформацією конструкцій будівель і споруд;
- інтенсифікацією газовиділення, у тому числі й радіоактивних газів, з можливістю подальшого скупчення в підземних спорудах;
- зміною характеру поверхневого стоку й активізацією ерозійних процесів;
- збільшенням корозійної активності ґрунтових вод.

У кінцевому результаті все це призведе до розвитку небезпечних екзогенних геологічних процесів.

**Виклад основного матеріалу.** Застосування накопиченого на Донбасі досвіду при виведенні шахт з експлуатації дає підставу вважати, що основний вплив на еколого-геологічні характеристики природно-техногенних систем мають еколого-гідрогеологічні чинники та пов'язані з ними процеси газо-, масо-, енергоперенесення.

Систематизація наявних даних дозволила визначити, що на теперішній час під впливом локальних джерел техногенного навантаження в зонах концентрації шахт у підземній гідросфері сформувалася гідродинамічна система, що характеризується взаємозв'язком (багато в чому антропогенного характеру) водоносних горизонтів як латерально, так і у вертикальному розрізі. Це зумовлює при виведенні шахт з експлуатації проведення аналізу сформованої обстановки підземної гідросфери та прогнозування її змін на регіональному рівні. Тільки такий підхід допоможе забезпечити найбільш повну інформацію про взаємний вплив окремих шахт, а також їхній сумарний вплив на підземну гідросферу та складові навколишнього природного середовища, що контактують з нею, і підвищити безпеку життєдіяльності на даній території.

Прикладом складності та багатофакторності проблем, викликаних "мочною" консервацією вугільних шахт, є закриття шахти "Пролетарська" Державної холдингової компанії (ДХК) "Луганськвугілля" і вплив останнього на якість підземних вод, що використовуються розташованим на відстані 3 км Світличанським (1-м Донецьким) водозабором.

Світличанський водозабір підземних вод розташований в с. Світличне на стику Новоайдарського, Попаснянського та Слов'яносербського адміністративних районів. Експлуатується для водопостачання таких великих міст, як Кіровськ, Стаханов, Перевальськ, Алчевськ, Первомайськ, Карбоніт та ін., менших населених пунктів. Потужність водозабору – до 151,3 тис. м<sup>3</sup>/добу [5].

Експлуатаційні запаси підземних вод родовища приурочені до тріщинуватої карстової зони мергельно-крейдових відкладів верхньої крейди, що залягають поблизу поверхні землі. У долині р. Сіверський Донець, що протікає територією області, відзначається найбільша потужність і тріщинуватість крейдових порід цієї зони. Їхнє залягання на значній за площею території лівобережжя під піщаними відкладами є добрим акумулятором атмосферних опадів і паводкових вод річки. Це сприяє формуванню запасів підземних вод і високій водообільності свердловин, що дозволяє будувати великі водозабори, у тому числі для централізованого водопостачання промислових районів. Одним з найбільших таких водозаборів є Світличанський водозабір.

Результати. Аналіз геологічних умов у місці розташування водозабору дозволяє зробити висновок про відсутність природної захищеності водовмісних порід від потрапляння забруднення з поверхні землі: на лівобережжі вони залягають під пісками, а в тальвегах балок правобережжя покриті лише невеликим за потужністю шаром четвертинних суглинків. Особливо небезпечно забруднення питного водоносного горизонту хімічними сполуками, стійкими в часі [3, 5].

Визначено, що основна зміна якісного складу підземних вод на площі Світличанського водозабору викликана багаторічною інфільтрацією в питний водоносний горизонт високомінералізованих, хлоридних за складом, шахтних вод шахти "Пролетарська". Цьому сприяло скидання по тальвегу балки Світлична вод шахтного водовідливу після відстоювання в шламонакопичувачі. Досягнувши депресійної лійки, вони поширилися на Правобережній, Боровській і Лівобережній групах водозабірних майданчиків, викликавши забруднення водоносного горизонту на площі до 2 км<sup>2</sup>.

Установлено, що в процесі експлуатації шахти "Пролетарська" (1961–1996) мінералізація шахтної води була 7,0 г/дм<sup>3</sup> на початку експлуатації, але вже в 1972 р. досягла 22,4 г/дм<sup>3</sup>, а в останні роки становила 17,0–18,0 г/дм<sup>3</sup>, у середньому шахтний водовідлив становив 3–4 тис. м<sup>3</sup>/добу.

Аналізуючи багаторічні (більше 50 років) спостереження за хімічним складом підземних вод, можна зазначити, що на надзаплавних лівобережних терасах долини р. Сіверський Донець, у межах родовища, він істотно не змінився. На іншій частині родовища за період експлуатації водозабору склад підземних вод зазнав значних змін. У Правобережній групі свердловин визначено підвищений вміст марганцю – 0,44–0,49 мг/дм<sup>3</sup> при ГДК 0,1 мг/дм<sup>3</sup>, вміст хлоридів – 1,3 г/дм<sup>3</sup>, сухий залишок – 2,8 г/дм<sup>3</sup>. Можна зробити висновок, що при "мочної" консервації шахти "Пролетарська" солоні води глибоких горизонтів, піднімаючись по зоні тектонічних порушень, досягнуть тріщинуватих зон верхньої крейди і будуть підтягнуті водозабірними свердловинами.

Відомо, що водоносні горизонти тріасових і кам'яновугільних відкладів на досліджуваній ділянці знаходяться в зоні уповільненого водообміну. Підземні води цієї зони за складом є хлоридно-натрієвими розсолами із вмістом бром, йоду, бору, метану. На великих глибинах вони мають температуру до 70 °С.

Наукова новизна. Проаналізовано, що шахтні води Алмазно-Мар'ївського ГПР мають підвищену мінералі-

зацію, яка коливається від 665 до 4555 мг/дм<sup>3</sup>, загальна жорсткість – у межах 16,0–50,0 мг-екв/дм<sup>3</sup>. Води сульфатного типу із вмістом сульфатів – до 2780 мг/дм<sup>3</sup>. Ці горизонти перспективні для розвитку бальнеолікування, а також видобутку броду та йоду. Крім того, води можуть використовуватися як термальні. При проходці купольних структур карбону на глибинах 600–700 м мінералізація води становила 23,0–24,0 г/дм<sup>3</sup> [2].

Помічено, що закриття шахти "Пролетарська" ускладнило не тільки гідрогеологічну ситуацію, але й посилило процеси газової міграції в районі Світличанського водозабору. У процесі досліджень у пробах підземних вод установлена наявність радону. Відомо, що за газовим фактором шахта "Пролетарська", як і більшість шахт Алмазно-Мар'ївського ГПР, належить до надкатегорійної. Гірські породи в межах шахтного відводу розбиті системою дрібних і великих тектонічних порушень. При затопленні шахти й підйомі рівня підземних вод є висока вірогідність виділення метану на поверхню, накопичення його в підвалах житлових будинків, льохах і господарських комунікаціях. Можлива поява метану в водозабірних свердловинах і виробничих приміщеннях Світличанського водозабору.

Установлена наявність у межах досліджуваної території зон, неблагополучних за радіаційним фактором. На території шахтного поля шахти "Пролетарська" було проведено роботи щодо виявлення відходів вуглевидобутку з техногенно-підвищеною природною радіоактивністю. Результатом комплексу робіт щодо виявлення, оцінювання, визначення об'ємів порід став розроблений групою авторів проект утилізації та захоронення 22 тис. м<sup>3</sup> цих відходів у шламонакопичувачі шахти "Пролетарська" [4].

Дослідження, проведені Українським науково-дослідним інститутом екологічних проблем (УкрНДІЕП) на сусідній шахті "Луганська", дозволяють говорити про надходження в підземні води, а згодом і в атмосферу, у досить великих кількостях природного газу радону, продукту розпаду 226Ra. Радон визначався в джерелах, що говорить про наявність його в підземних водах. Крім того, дослідження проб приземного шару повітря по шахтах Стахановського регіону дозволили зробити висновок про можливість накопичення радону в підвалах виробничих приміщень і житлових будівель, де концентрації, визначені НРБУ-97 (50–100 Бк/м<sup>3</sup>), можуть бути перевищені в кілька разів. Тому обов'язковою є організація контролю за вмістом цього радіонукліда в місцях його можливого скупчення.

Завдання моніторингу природного та техногенного середовища можуть повноцінно вирішуватися тільки на основі науково обґрунтованої організації стаціонарних мережних спостережень. Виявлено, що найбільш динамічним, вразливим і тісно пов'язаним з контактуючими середовищами елементом навколишнього природного середовища, який визначає цілий ряд змін його стану, є підземна гідросфера. Тому контроль за динамікою зміни характеристик підземних вод в умовах виведення шахт з експлуатації має бути різноплановим. Це, насамперед, спостереження за рівневим режимом підземних вод і формуванням їхнього якісного складу як у регіональному плані, так і на локальних ділянках (зонах житлової забудови, підтоплення і т. ін.).

Практичне значення. Ураховуючи наведене вище, продовжувати процес "мокрої" консервації можливо лише після створення дієвої та максимально інформативної моніторингової системи спостережень. Для її створення необхідна інвентаризація існуючої мережі спостережень, як державної, так і відомчої. Крім того, у зв'язку з новими конкретними завданнями необхідно

визначити доцільність її вдосконалення шляхом певної оптимізації, можливого розширення мережі пунктів контролю та їхніх характеристик. При цьому мають бути враховані особливості ступеня зміни техногенних факторів в умовах виведення шахт з експлуатації, що зумовлює концентрацію контролю стану природного середовища на локальних природно-техногенних ділянках – зонах розташування ліквідованих шахт.

Висновки. У статті висвітлено фактори впливу "мокрої" консервації вугільних шахт на геологічне середовище Алмазно-Мар'ївського ГПР. На прикладі ліквідованої шахти "Пролетарська" ДХК Луганськвугілля систематизовано чинники впливу закриття вугільних шахт на еколого-гідрогеологічний стан навколишнього середовища. У подальшому ділянка ліквідованої шахти могла б стати полігоном для вдосконалення системи стаціонарних мережних спостережень і напрацювання рекомендацій щодо її облаштування на інших ділянках.

Основними цільовими завданнями комплексної системи моніторингу довкілля в умовах виведення шахт з експлуатації є:

- спостереження за динамікою забруднення підземних вод;
- виявлення закономірностей формування гідродинамічної та гідрохімічної обстановки в підземній гідросфері, розвитку несприятливих процесів і явищ (підтоплення, заболочення, засолення);
- контроль за деформаціями земної поверхні відпрацьованих територій та станом компонентів техногенного середовища;
- контроль за розвитком процесів газо-, геоміграції у відпрацьованих породних масивах шахтних полів;
- радіометричний контроль підземних вод, а також повітря в підвалах будинків, що розташовані в потенційно небезпечних зонах.

Ці роботи мають стати основою для складання прогнозів на найближчу (3–5 років) і тривалу (до 10 років) перспективу. Паралельно із зазначеними роботами необхідно систематично здійснювати радіаційний контроль (вміст радону і потужність дози  $\gamma$ -випромінювання). Підставою для цього є результати радіоекологічних досліджень, проведених УкрНДІЕП на території шахтних полів шахт "Пролетарська", "Максимівська", "Луганська" та "Імені Чеснокова". Крім того, у результаті рекогносцирувального обстеження водопунктів Стаханівського району Луганської області виявлено води з підвищеним вмістом радону, що робить необхідним включення цього виду радіометричних досліджень до складу радіоекологічної частини комплексного моніторингу навколишнього середовища Алмазно-Мар'ївського ГПР.

#### Список використаних джерел

1. Ермаков В. Н. Изменение гидродинамического режима шахт при затоплении / В. Н. Ермаков, О. А. Улицкий, А. И. Спожакин // Уголь Украины. – 1998. – № 6. – С. 11–13.  
Ermakov V.N., Ulitskiy O.A., Spozhakin A.I., (1998). Izmeneniye gidrodinamicheskogo rezhima shakht pri zatoplenii. Ugol' Ukrainy, 6, 11–13. (In Russian)
2. Задара Г. та ін. Вивчення техногенного впливу вуглепромислового комплексу на геологічне середовище / Г. Задара та ін.: Звіт Східного державного регіонального геологічного підприємства "СхідДРДП" про геологічне вивчення надр. – Луганськ, 2003. – 100 с.  
Zadara H. et al., (2003). Vyvchennia tekhnogennoho vplyvu vuhlepromyslovoho kompleksu na heolohichne seredovyshe: Zvit Shkhdnoho derzhavnogo rehionalnoho heolohichnoho pidpriemstva "ShkhdDRDP" pro heolohichne vyvchennia nadr. Luhansk, 100 p (In Ukrainian).
3. Удалов И. В. Особенности техногенного загрязнения подземных вод (на примере Светличанского водозабора Луганской области) / И. В. Удалов. – Х., НТУ ХПИ, 2005. – С. 115–121.  
Udalov I.V., (2005). Osobennosti tekhnogennoho zagryazneniya podzemnykh vod (na primere Svetlichanskogo vodozabora Luganskoy oblasti). NTU KhPI, Kh., 115–121 (In Russian).

4. Разработка рабочей документации укрытия радиоактивных отходов на объектах шахты "Пролетарская" ГХК "Луганскуголь". – Х.: УкрНИИЭП, 2001. – 57 с.

Razrobotka rabochey dokumentatsii ukrytiya radioaktivnykh otkhodov na ob'ektakh shakhty "Proletarskaya" GKhK "Luganskugol", (2001). Khar'kov: UkrNIIEP, 57 p (In Russian).

5. Котелевец Е. П. Мониторинг за состоянием геологической среды на территории закрытых шахт Стахановского региона / Е. П. Котелевец, А. В.

Таракхало : отчет о результатах выполненных работ (№ 402 к /02 от 25.07.02.). Т. 1: Гидрогеологический мониторинг. – Луганск, 2003. – 104 с.

Kotelevets E.P., Tarakhkalo A.V., (2003). Monitoring za sostoyaniem geologicheskoy sredy na territorii zakrytykh shakht Stakhanovskogo regiona: Otchet o rezul'tatakh vpolnennykh rabot (№ 402 k /02 ot 25.07.02.). Vol. 1: Hidrogeologicheskii monitoring. Lugansk, 104 p. (In Russian).

Надійшла до редколегії 20.10.14

I. Udalov, Cand. Sci. (Techn.), Assoc. Prof.

V.N. Karazin Kharkiv National University

4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022 Ukraine

E-mail: igorudalov8@gmail.com

D. Chomko, Cand. Sci. (Geol.), Assoc. Prof.

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology

90 Vasykivska Str., Kyiv, 03022 Ukraine

E-mail: Chomko@univ.kiev.ua

## ECOLOGICAL AND HYDROGEOLOGICAL RESEARCH ON "WET" PRESERVATION OF COAL MINES (A CASE STUDY OF ALMAZNO-MAR'YVSKY MINING AND INDUSTRIAL REGION, DONBASS)

**Goal.** The article describes the implications of the Donbass loss-making coal mine removal from service by "wet" preservation. The Almazno-Mar'yvsky mining region (MR) was chosen to be the study area as the most representative of geological complexity, scale of engineering and industrial activities. The main factors in adverse processes and hazards resulting from closing Almazno-Mar'yvsky MR mines have been defined.

**Methodology.** The research yielded data on potential hazards associated with changes in the natural and man-made environment under the mine closure conditions.

**The results of research.** It has been shown that the major effects on the ecology and geology of natural and man-made systems are exerted by ecological and hydrogeological processes accompanied by gas-, mass-, and energy transfer. Data analysis showed that the mine concentration zones had a local man-induced impact on the underground hydrosphere, where a hydrodynamic system formed, with aquifers being interconnected both horizontally and vertically.

**Originality.** The case of closing Proletarskaya mine located in close proximity to the Svetlichansky water intake was used to show the complexity of problems caused by "wet" preservation of coal mines. It has been found that the major changes in the ground water quality at the Svetlichansky water intake resulted from the long-term infiltration of the highly mineralized chloride mine waters from Proletarskaya mine into the aquifer. The mine drainage waters within the Almazno-Mar'yvsky MR were analyzed as well as their implications for balneology.

**Practical use.** The Proletarskaya mine closure has exacerbated gas migration at the Svetlichansky water intake; the presence of radon was detected in the underground water samples. Different aspects have been shown of monitoring the changes in the underground water quality under the conditions of pit closure. The research results may be used as a framework for creating an efficient monitoring system on a local and regional scale.

**Keywords:** loss-making coal mines, "wet" preservation, hydrodynamic system, Proletarskaya mine, Svetlichansky water intake, Almazno-Mar'yvsky mining region.

И. Удалов, канд. техн. наук., доц.

E-mail: igorudalov8@gmail.com

Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина

пл. Свободы, 4, г. Харьков, Украина

Д. Чомко, канд. геол. наук, доц.

E-mail: Chomko@univ.kiev.ua

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,

УНИ "Институт геологии", ул. Владимирская, 60, г. Киев, Украина

## ЕКОЛОГО-ГИДРОГЕОЛОГІЧЕСКІЕ ІССЛЕДОВАНИЯ В СВЯТИ С "МОКРОЙ" КОНСЕРВАЦІЕЙ УГОЛЬНИХ ШАХТ (НА ПРИМЕРЕ АЛМАЗНО-МАРЬЄВСЬКОГО ГОРНОПРОМЫШЛЕННОГО РАЙОНА ДОНБАССА)

**Цель.** Описаны последствия реализации программы вывода из эксплуатации нерентабельных угольных шахт Донбасса путем их "мокрой" консервации. Территорией исследований выбран Алмазно-Марьевский горнопромышленный район (ГПР) как наиболее репрезентативный по сложности геологических условий и масштабам инженерно-хозяйственной деятельности. Определены основные факторы возникновения неблагоприятных и опасных процессов при закрытии шахт Алмазно-Марьевского ГПР.

**Методика.** В процессе исследований определен комплекс потенциально опасных процессов и явлений, сопровождающий изменение природно-техногенной ситуации в условиях вывода шахт из эксплуатации.

**Результаты.** Показано, что основное влияние на эколого-геологические характеристики природно-техногенных систем оказывают эколого-гидрогеологические факторы и связанные с ними процессы газо-, массо-, энергопереноса. Систематизация данных позволила определить, что под влиянием локальных источников техногенной нагрузки в зонах концентрации шахт в подземной гидросфере сформировалась гидродинамическая система, характеризующаяся взаимосвязью водоносных горизонтов как по площади, так и в вертикальном разрезе.

**Научная новизна.** Сложность и многофакторность проблем, вызванных "мокрой" консервацией угольных шахт, рассмотрена на примере закрытия шахты "Пролетарская" и расположенного в непосредственной близости Светличанского водозабора. Определено, что основное изменение качественного состава подземных вод на площади Светличанского водозабора вызвано многолетней фильтрацией в питьевой водоносный горизонт высокоминерализованных, хлоридных по составу, шахтных вод шахты "Пролетарская". Проанализированы воды шахтного водоотлива шахт, расположенных в Алмазно-Марьевском ГПР, установлена возможность использования вод в бальнеологии.

**Практическое значение.** Установлено, что закрытие шахты "Пролетарская" усугубило процессы газовой миграции в районе Светличанского водозабора, в пробах подземных вод установлено наличие радона. Обосновано, что контроль за динамикой изменения характеристик подземных вод в условиях вывода шахт из эксплуатации носит многоплановый характер и является основой для создания информативной мониторинговой системы на локальном и региональном уровне.

**Ключевые слова:** нерентабельные угольные шахты, "мокрая" консервация, гидродинамическая система, шахта "Пролетарская", Светличанский водозабор, Алмазно-Марьевский горнопромышленный район.

УДК 556.32:556.114

Л. Шевчук, асп.  
E-mail: fnks@ukr.net  
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,  
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна

## ВПЛИВ ГЕОХІМІЧНИХ УМОВ НА ЗМІНИ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ПІДЗЕМНИХ ВОД (НА ПРИКЛАДІ ВОДОЗАБОРІВ ЛУГАНСЬКОЇ ОБЛАСТІ)

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, доц. О. Є. Кошляковим)

Забезпеченість питною водою є запорукою сталого розвитку будь-якої держави. У зв'язку з цим останнім часом роль підземних вод зростає, оскільки вони є більш захищеними, ніж поверхневі. У регіонах з розвинутою промисловістю питання забезпеченості питною водою набуває більшої актуальності. Луганська область характеризується багатогалузевим комплексом, в якому провідну роль відіграє переробна промисловість. Основним джерелом централізованого питного водопостачання є прісні підземні води мергельно-крейдової товщі, якість яких погіршується. Зростання величини мінералізації підземних вод зумовлено збільшенням концентрації сульфатів і хлоридів у підземних водах. Існують декілька думок стосовно погіршення якості підземних вод у межах Луганської області, проте питання стосовно причин такого явища залишається відкритим. Оскільки хімічний склад підземних вод у багатьох випадках залежить від складу ґрунтів, доцільно розглянути гідрогеохімічні умови даної території. Метою статті є висвітлення впливу геохімічних процесів у геологічному середовищі на хімічний склад підземних вод.

Основні закономірності розподілу хімічних сполук з глибиною було проаналізовано за допомогою даних водних витяжок і побудовано відповідні графіки. З метою встановлення зв'язку між якістю підземних вод і хімічним складом ґрунтів зони аерації було побудовано карту-схему максимальних змін мінералізації підземних вод у мергельно-крейдовому водоносному горизонті. Просторовий аналіз максимальних змін мінералізації підземних вод досліджувався методом інтерполяції. Групування даних за кількісною ознакою виконувалося за формулою Стерджесса.

У результаті досліджень встановлено, що найбільшу мінералізацію зафіксовано у витяжках, відібраних із суглинків і глин. Завдяки просторовому аналізу виявлено основні ділянки, в яких відбувається погіршення якості підземних вод. Максимальні зміни величин мінералізації підземних вод приурочені до ділянок, у межах яких поширені глинисті породи в корах вивітрювання, а в зоні аерації присутні сольові утворення. Таким чином, у результаті досліджень встановлено зв'язок між гідрогеохімічними умовами геологічного середовища та хімічним складом підземних вод. Дослідження спрямовано на виявлення причин зміни в часі макрокомпонентного складу підземних вод у мергельно-крейдовій товщі й становить практичне значення для робіт з прогнозування якості підземних вод, перш за все – для водоносних горизонтів, залягання яких близьке до зони аерації.

**Ключові слова:** гідрогеологія, погіршення якості підземних вод, мінералізація, сульфати, хлориди, гідрогеохімічні умови, водні витяжки, зона аерації, глинисті породи.

**Вступ.** У межах Луганської області налічується близько 65 діючих водозаборів, які працюють на затверджених запасках і експлуатують водоносний горизонт мергельно-крейдової товщі з метою централізованого водопостачання населення. Деякі водозабори введені в експлуатацію в 40-х рр. XX ст (Луганський 1, 2, 3), більшість експлуатується з 60–80 рр. XX ст. Розташування водозаборів підземних вод залежить від гідрографічної сітки, що пов'язано з мінімальною тріщинуватістю мергельно-крейдових порід на вододілах. Тому більшість водозаборів приурочено до долин р. Сіверський Донець, Лугань, Вільхова, Айдар, Євсуг та ін.

Характерною рисою для всіх водозаборів, приурочених до басейну р. Сіверський Донець, є те, що з періоду їхнього введення в експлуатацію мінералізація постійно зростає, а протягом останнього десятиріччя збільшення її величини відбувається на фоні поступового зменшення обсягів водовідбору. Дослідження ґрунтуються на даних водних витяжок і відомостях про гідрогеохімічні умови.

**Постановка проблеми.** Погіршення якості підземних вод мергельно-крейдової товщі є поширеною проблемою на сході України, зокрема в Луганській області. Дана проблема вивчалася багатьма гідрогеологами, які висловлювали з цього приводу найрізноманітніші версії стосовно причин погіршення якості. Більшість дослідників вважає, що основною причиною є техногенний вплив. Деякими дослідниками висловлено припущення, що причиною зміни якості підземних вод може бути перетікання або з водоносного горизонту четвертинних відкладів, або з таких водоносних горизонтів, які залягають глибше і води яких мають значно більшу мінералізацію. Проте на вплив природної геохімічної обстановки на формування хімічного складу підземних вод майже не зверталось уваги. Зокрема, у вивченні даної проблеми не враховувався вплив процесів, що відбуваються в ґрунтах зони аерації.

**Метою даної статті** є висвітлення впливу гідрогеохімічних процесів у геологічному середовищі, які спри-

яють збільшенню мінералізації підземних вод мергельно-крейдової товщі в межах Луганської області. Оскільки про цю територію недостатньо матеріалів з хімічного та мінералогічного складу ґрунтів, для вивчення проблеми було використано дані аналізів витяжок порід зони аерації. Для визначення основних закономірностей розподілу хімічних сполук з глибиною автором статті побудовано відповідні графіки та проаналізовано дані аналізів водних витяжок. Також з метою встановлення зв'язку між якістю підземних вод і хімічним складом ґрунтів зони аерації автором було побудовано та проаналізовано карту-схему максимальних змін мінералізації підземних вод у мергельно-крейдовому водоносному горизонті. Дослідження спрямовано на виявлення причин зміни в часі макрокомпонентного складу підземних вод у мергельно-крейдовій товщі й становить практичне значення для робіт з прогнозування якості підземних вод, перш за все – для водоносних горизонтів, залягання яких близьке до зони аерації.

**Основний матеріал.** Відповідно до схеми гідрогеологічного районування територія Луганської області належить до двох гідрогеологічних структур I порядку: більшість її території, північна і центральна частини області, належать до Дніпровсько-Донецького артезіанського басейну, південна – до Донецької гідрогеологічної складчастої області. Досліджувана територія належить до периферійної частини Дніпровсько-Донецького артезіанського басейну [3].

Водоносний горизонт тріщинуватої зони верхньокрейдових відкладів використовується для централізованого питного водопостачання всієї Луганської області. Поширення його приурочено до тріщинуватої зони мергельно-крейдової товщі, яка характеризується інтенсивним водообміном.

На потужність, ступінь тріщинуватості, водозбагаченість та якість підземних вод суттєво впливає літолого-мінералогічний склад. Водоносний горизонт складений писальною крейдою, крейдоподібним, піщаним і

глинистим мергелем. Літологічний склад і вік відкладів по площі змінний. Питомий дебіт свердловин збільшується з півночі на південь від 1 до 30 л/с, а коефіцієнт водопровідності – від 100 до 2000 м<sup>2</sup>/добу.

Живлення водоносного горизонту здійснюється за рахунок інфільтрації атмосферних опадів і носить сезонний характер, переважно у весняний і меншою мірою в осінній періоди. Формування режиму підземних вод відбувається в складних умовах. У межах досліджуваної території вирізняються ділянки із сильно розчленованим рельєфом, що зумовлює поверхневий стік у великих обсягах, на інших спостерігається значне поглинання атмосферних опадів, крім того, відзначається суттєвий вплив річкової сітки. Величина атмосферного живлення зростає в міру руху від межиріччя до області дренажу. За умовами формування підземного стоку територія не є однорідною. Розвантаження водоносного горизонту відбувається в численні річки, озера, болота шляхом випаровування, відбору поверхневих вод для зрошення і технічного водопостачання за рахунок відбору підземних вод водозаборами та впливу гідротехнічних споруд [1].

У долинах річок водоносні горизонти тріщинуватої зони верхньої крейди та алювіальних відкладів являють собою єдину взаємопов'язану систему [4].

Хімічний склад підземних вод у багатьох випадках залежить від складу ґрунтів. Добові та сезонні коливання температур, а також мінливість опадів є причиною великої різноманітності видів взаємодії в системі "вода – порода", а також сприяють збільшенню іонної сили ґрунтових розчинів, що приводить до мінерального насичення за рахунок відсутності опадів і подальшого розчинення шляхом інфільтрації атмосферних опадів. Реакції, що відбуваються на контакті "ґрунт – порода", є більш інтенсивними в геохімічному циклі і відіграють головну роль у визначенні основного складу. Залежно від мінералогічного складу та обмінної ємності в зоні аерації відбувається ослаблення кислотності дощової води або ґрунтів, яке завершується, як правило, у не насиченій зоні й викликає додаткові зміни.

Поширення та розчинність визначають роль окремих компонентів у хімічному складі підземних вод. Аналіз водних витяжок дає уявлення про розподіл аніонів і катіонів з глибиною. Графіки водних витяжок свідчать про строкатість аніонно-катіонного складу та мінливість їхніх співвідношень з глибиною. Найбільша кількість водорозчинних солей міститься в лесових породах, поширених на вододілах і схилах, а також у суглинках і глинах у межах долин. Вміст водорозчинних солей у ґрунтах залежить від рельєфу місцевості, а також геохімічних і гідродинамічних особливостей: збільшується на пониженнях рельєфу та в зонах, де менше дренажу. Від вододілів до долин потужність покривів, які фільтрують атмосферні опади, зменшується, що полегшує надходження атмосферних опадів до водоносного горизонту мергельно-крейдової товщі [2, 7].

Для Луганської області характерне випаровування, яке в 1,5–2 рази перевищує кількість опадів. У таких умовах інфільтрація атмосферних опадів періодично змінюється висхідними капілярними токами в ґрунтовому масиві, які створюються під впливом випаровування. За Г. М. Каменським, на формування хімічного складу підземних вод у таких випадках впливає процес засолення. Розчинні солі потрапляють у ґрунтові води за рахунок їхнього змиву в результаті випадання атмосферних опадів і в процесі поверхневого стоку. Процес засолення відбувається при випаровуванні води з поверхні ґрунту та ґрунтових вод шляхом капілярного підняття. Ці процеси призводять до формування вод під-

вищеної мінералізації, що представляють групу вод континентального засолення, для яких характерні сульфатний, сульфатно-хлоридний та хлоридний типи. Тож слід відзначити, що на сході України, у тому числі й в Луганській області, під впливом кліматичних чинників сформувалася зона континентального засолення [6].

Формування хімічного складу ґрунтових вод в умовах інтенсивної інфільтрації атмосферних опадів здійснюється під впливом процесів вилугування ґрунтів і гірських порід, пов'язаних з процесами утворення ґрунтів і вивітрювання, що визначає ґрунтові води як води вилугування.

Формування вод у зоні континентального засолення відбувається внаслідок невеликої кількості атмосферних опадів, інтенсивного випаровування та відсутності природного дренажу, у несприятливих умовах для підземного стоку та утворення джерел, при переважанні випаровування над кількістю опадів, що надходить до ґрунтового простору.

Уздовж долин річок ґрунтові води живляться як за рахунок інфільтрації, так і водами поверхневого стоку та водами річок, рівень яких у засушливих низинах зазвичай вище рівня ґрунтових вод. За відсутності природного дренажу в цих умовах утворюються безстічні басейни ґрунтових вод, які витрачають воду в посушливі періоди на випаровування.

Формування хімічного складу ґрунтових вод в умовах інтенсивного випаровування та відсутності природного дренажу здійснюється у зв'язку з процесами засолення [2].

Накопичення розчинних солей у воді здійснюється на різних стадіях формування вод, починаючи з моменту випадіння атмосферних опадів, та в процесі поверхневого стоку, коли атмосферна вода (дощова і тала) змиває накопичені на поверхні засолені ґрунтові солі. Далі засолення здійснюється за рахунок висихання тимчасових водойм при випаровуванні води з поверхні ґрунтів і транспірації її рослинами, при випаровуванні ґрунтових вод шляхом капілярного підняття. Усі названі вище процеси ведуть до формування вод з підвищеною мінералізацією.

Для зони континентального засолення характерне різке зниження вмісту агресивної вуглекислоти, унаслідок чого швидко збільшується вміст CaCO<sub>3</sub>, потім – CaSO<sub>4</sub>. У процесі випаровування в осад випадають найменш розчинні сполуки CaCO<sub>3</sub>, а потім CaSO<sub>4</sub>, агресивна вуглекислота у засолені ґрунтах практично не утворюється, що й сприяє накопиченню в зоні аерації вторинних відкладів у вигляді прошарків карбонатів і кристалів гіпсу. Кальцій випадає в осад у результаті утворення кальцій-органічних сполук – фульватів і гуматів, які нездатні мігрувати в підземних водах.

Подальше утворення агресивної вуглекислоти неможливе в зазначених умовах, що сприяє накопиченню вторинних відкладів у зоні аерації у вигляді карбонатів і кристалів гіпсу.

За вмістом компонентів хімічного складу, характером їхнього розподілу з глибиною, за даними водних витяжок можна виділити велику кількість типів. Така ситуація свідчить на користь припущень Г. М. Каменського, що концентрація, яка утворилася шляхом випаровування ґрунтових вод, супроводжується процесами іонного обміну між компонентами розчину й обмінним комплексом порід, а також обмінними реакціями між новоутвореннями у твердій фазі й новими сполуками, що формуються в підземних водах. Перший тип розподілу вмісту аніонів і катіонів у розрізі характеризується максимальними значеннями в зоні аерації, приуроченими до інтервалів глибин 2–5 м. Розподіл вмісту ком-

понентів хімічного складу з глибиною нерівномірний, що свідчить про неоднакову засоленість зони аерації. Спільною рисою в такому розподілі є переважання в розчиненому вигляді сульфатів кальцію, а також значення сухого залишку 1,1–1,3 г на 100 г ґрунту в суглинках і глинах із включеннями карбонатного матеріалу та кристалами гіпсу (рис. 1, табл. 1).

Для другого типу розподілу характерні менші значення сухого залишку – до 0,25 г/100 г ґрунту, витяжка отримана з озалізених глин, які підстилаються шаром дрібнозернистого піску, що, можливо, сприяє посиленню динаміки процесу інфільтрації атмосферних опадів і таким чином інтенсифікує винесення розчинних солей, які утворилися в результаті іонного обміну.

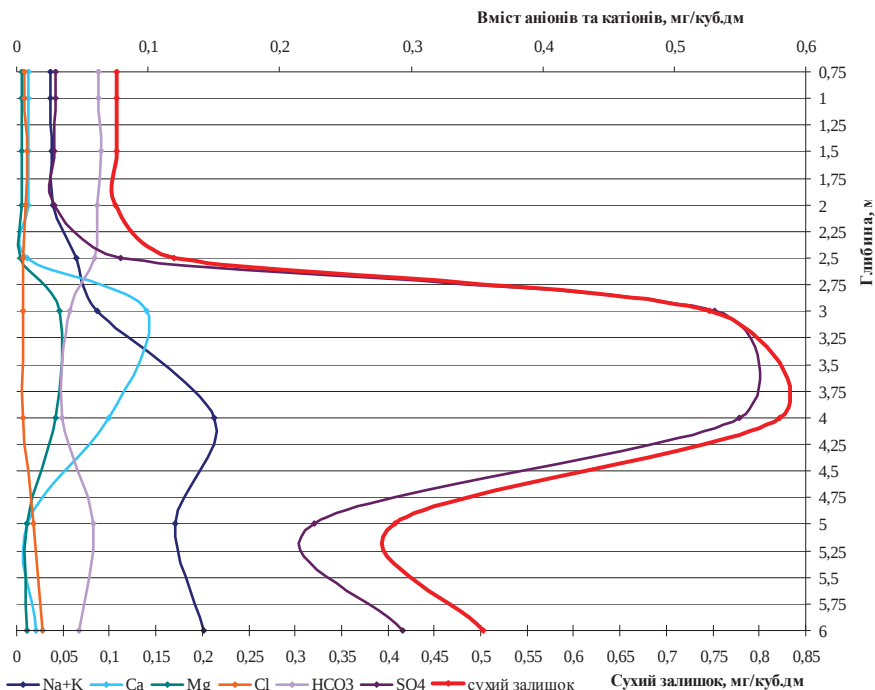


Рис. 1. Характеристика розподілу аніонно-катіонного складу з глибиною за даними водних витяжок по Кримському водозабору (на прикладі даних по шурфу № 11р)

Таблиця 1

Літологічна характеристика порід (шурф 11)

| Глибина підшви, м | Потужність, м | Літологічна характеристика порід                                                                                                                                                              |
|-------------------|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0,5               | 0,5           | Ґрунтово-рослинний шар                                                                                                                                                                        |
| 2,5               | 2             | Суглинок жовто-сірий, середній, напівтвердий, гумусований, карбонатний                                                                                                                        |
| 4,0               | 1,5           | Суглинок палево-сірий, середній, напівтвердий, з незначною кількістю щільних карбонатів, безструктурний                                                                                       |
| 7,0               | 3             | Суглинок палево-сірий з червонуватим відтінком, середній, тугопластичний, з незначними домішками щільних карбонатних включень, по шару глибовий. До низу набуває більш червонуватого відтінку |

Для вододілів характерні значення сухого залишку, які не перевищують 0,1 г/100 г ґрунту, що пояснюється тим, що на таких ділянках рівні ґрунтових вод не потрапляють у зону інтенсивного випаровування.

У результаті аналізу розподілу аніонно-катіонного складу з глибиною за даними водних витяжок відмічається характерна строкатість хімічного складу розчинних солей зони аерації, яка спричинена активними процесами іонного обміну і є керівним фактором у формуванні хімізму підземних вод водоносних горизонтів більш глибокого залягання, приводить до висновку, що хімічний склад підземних вод має носити також строкатий характер. Кримський водозбір є наочною ілюстрацією зазначеного твердження. З оцінки хімічного складу та темпів змін вмісту його окремих компонентів за період тривалого процесу експлуатації водозабору відмічено зміни практично по кожній свердловині. Однак спільною характерною рисою у випадку всіх свердловин є підвищення мінералізації за рахунок збільшення вмісту іонів сульфатів, хлору, натрію та кальцію. Із 14 свердловин вміст гідрокарбонатів збільшувався в часі по шести свердловинах, збільшення сульфат- і хлорид-іонів зафіксовано по дев'яти свердловинах, вміст кальцію – у

восьми і натрію – у шести свердловинах, що знову ж таки свідчить на користь тверджень Г. М. Каменського щодо розподілу аніонно-катіонного складу в зоні континентального засолення, в якій і роташована досліджувана територія.

Постійне погіршення якісного стану підземних вод мергельно-крейдової товщі, можливо, пов'язано зі зміною впливу процесу сольового накопичення на процес вилугування солей [6].

Просторовий аналіз максимальних змін мінералізації, а також вмісту сульфатів і хлоридів, досліджувався методом інтерполяції. Групування даних за кількісною ознакою виконувалося за формулою Стерджеса (1–2) і відображено в табл. 2:

$$n = 1 + 3,322 \lg N \quad (1)$$

де  $n$  – кількість інтервалів;  $N$  – кількість одиниць сукупності;

$$h_i = \frac{R}{n} = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{n} \quad (2)$$

де  $h_i$  – довжина інтервалу;  $R$  – розмах варіації, визначається як різниця між найбільшим і найменшим значеннями ознаки в сукупності  $R = x_{\max} - x_{\min}$ ;  $n$  – кількість груп.

Таблиця 2

Розрахункові показники групування кількісних даних з метою просторового аналізу максимальних змін мінералізації, вмісту сульфатів і хлоридів у підземних водах мергельно-крейдової товщі

| Розрахунковий показник       | Максимальні зміни сухого залишку | Максимальні зміни вмісту хлорид-іона | Максимальні зміни вмісту сульфат-іона |
|------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| Кількість одиниць сукупності | 135                              | 135                                  | 135                                   |
| $X_{\max}$                   | 4                                | 1                                    | 35,83                                 |
| $X_{\min}$                   | 2380                             | 2942                                 | 5194,12                               |
| Кількість інтервалів         | 8,076969                         | 8,076969                             | 8,076969                              |
| Довжина інтервалу            | 294,1698                         | 364,1217                             | 638,6418                              |

Завдяки просторовому аналізу встановлено основні ділянки, у межах яких простежується погіршення якості підземних вод (рис. 2). У межах лівобережної частини долини р. Сіверський Донець мінералізація підземних вод у відкладах мергельно-крейдової товщі не перевищує 1,0 г/дм<sup>3</sup>, незважаючи на те, що в межах даної території розташовані такі промислові центри, як Рубіжне, Лисичанськ і Северодонецьк, техногенний вплив яких визнається найбільшим в Україні. Техногенний вплив обумовлений тут роботою підприємств хімічної, нафтоперегінної та металургійної промисловості, а також накопичувачів і відстійників.

Зона аерації цієї території представлена піщаними різновидами. Проте в долинах лівобережних приток р. Сіверський Донець, таких як рр. Дуванка, Євсуг, Тепла та Айдар, де промислових підприємств практично немає, на значній частині водозаборів відзначаються

величини мінералізації понад 1,0 г/дм<sup>3</sup>. Така тенденція простежується абсолютно для всіх водозаборів, які розташовані на ділянках, віддалених від річищ. Ці водозабори розташовані в межах поширення ґрунтів зони аерації, які представлені глинами, глинистими породами та мергелями. При дослідженні погіршення якості підземних вод у відкладах мергельно-крейдової товщі встановлено, що в переважній більшості випадків вони розташовані в межах території, де в зоні аерації присутні сольові утворення.

Нерозчинні сполуки можуть накопичуватися у водотривких прошарках кори вивітрювання і за сприятливих умов (вивітрювання, розтріскування ґрунту внаслідок зміни температурного режиму ґрунту та збільшення кількості опадів) виноситися інфільтраційними водами до водоносного горизонту.

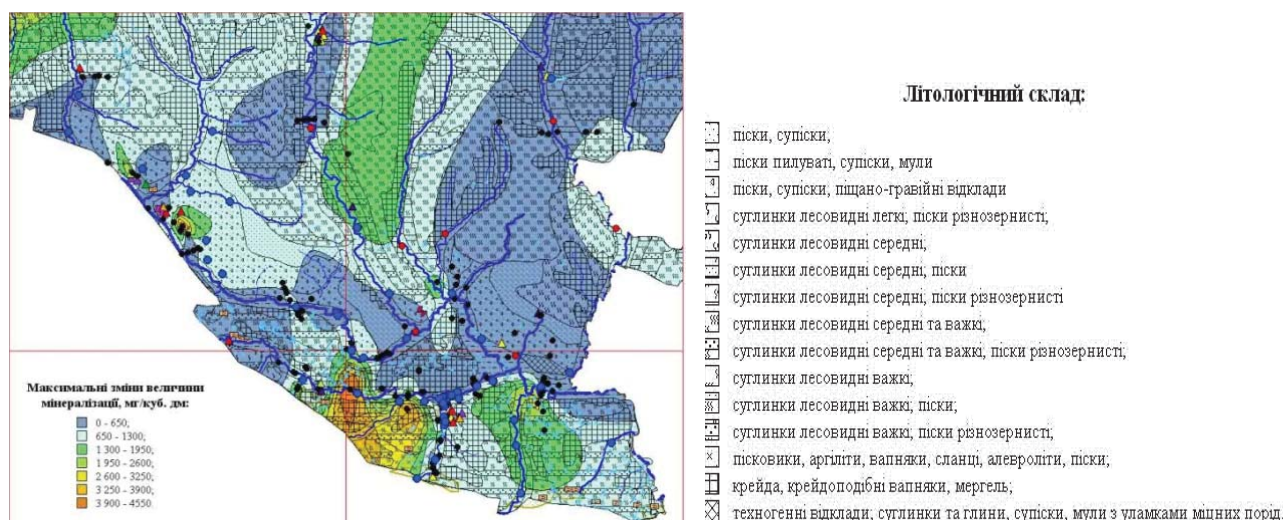


Рис. 2. Карта-схема максимальних змін величини мінералізації, а не лесовидні

Висновки. Гідрогеохімічні процеси в зоні аерації є визначальними у формуванні якості підземних вод. Результати аналізів водних витяжок порід зони аерації та четвертинних, неогенових, палеогенових і верхньокрейдових порід свідчать про нерівномірність розподілу хімічних компонентів у розрізі, що відбивається на хімічному складі підземних вод. При випаровуванні, яке перевищує в 1,5–2 рази кількість опадів, відбуваються процеси засолення в зоні аерації. Утворені солі виносяться до водоносного горизонту шляхом інфільтраційних потоків. Згодом процеси засолення замінюються процесами вилугування, що істотно погіршує якість підземних вод водоносного горизонту в мергельно-крейдових відкладах.

У результаті просторового аналізу встановлено, що максимальні зміни величини мінералізації, а також вмісту сульфатів і хлоридів, приурочені до ділянок, у межах яких поширені глинисті породи в корах вивітрювання. Нерозчинні сполуки накопичуються у водотривких породах і згодом, за сприятливих умов, таких як розтріскування ґрунту внаслідок зміни температурного режиму ґрунту та збільшення кількості опадів, у результаті

вивітрювання виносяться інфільтраційними водами до водоносного горизонту у відкладах мергельно-крейдової товщі.

#### Список використаних джерел

1. Варавка К. М. Формирование подземных вод Днепровско-Донецкого бассейна / К. М. Варавка, И. Ф. Вовк, Г. М. Негода. – К.: Наук. думка, 1977. С. 42–46.  
Varava K.M., Vovk I.F., Negoda G.M. Groundwater forming of Dnirovsko-Donetskiy Basin [Formirovanie podzemnykh vod Dneprovsko-Donetskogo bassejna]. Kyiv, Naukova dumka – Scientific Thought, 42–46 (In Russian).
2. Каменский Г. Н. Зональность грунтовых вод и почвенно-географические зоны / Г. Н. Каменский // Труды лаборатории гидрогеологических проблем им. акад. Саваренского. – М.: Л., АН СССР, 1949. – Т. VI, 51949–21.  
Kamenskiy G.N., (1949). Zoning of groundwater and soil-geographic zones. Proceedings of hydrogeological problems laboratory named of Academician Savarenskii [Zonalnost gruntovykh vod i pochvenno-geograficheskiye zony. Trudy laboratorii gidrogeologicheskikh problem imeni akademika Savarenskogo]. Akademika nauk SSSR – Sciences Academy of the USSR, Moscow – Leningrad, T.VI, 5-21. (In Russian)
3. Камзіст Ж. С. Гідрогеологія України / Ж. С. Камзіст, О. Л. Шевченко. – К.: Інкос, 2009. – С. 190–193.  
Kamzist Zh.S., Shevchenko O.L., (2009). Hydrogeology of Ukraine [Gidroheolohiya Ukrainy]. Kyiv, Inkos, 190–193 (In Ukrainian).

4. Каширина Н. А. Подземные воды мергельно-меловой толщи северной части Донбасса. Условия формирования и рациональное использование / Н. А. Каширина. – Харьков, 1975. – 28 с.

Kashirina N.A. Groundwater of marl-chalk thickness in the northern part of the Donbass. Conditions of formation and rational use. [Podzemnye vody mergelno-melovoy tolshchi severnoy chasti Donbassa. Usloviya formirovaniya i ratsionalnoye ispolzovaniye]. Kharkiv, 28. (In Russian)

5. Крайнов С. Р. Геохимия подземных вод хозяйственно-питьевого назначения / С. Р. Крайнов, В. М. Швеца. – М.: Недра, 1987. С. 83–105.

Kraynov S.R., Shvets, V.M., (1987). Groundwater geochemistry of utility and drinking purposes [Geokhimiya podzemnykh vod khozyaystvenno-pit'yevogo naznacheniya]. Moscow, Nedra – Subsoil, 83-105 (In Russian).

6. Люта Н. Г. Геохімічні процеси в зоні аерації як фактор формування хімічного складу підземних вод ґрунтових і субґрунтових горизонтів /

Н. Г. Люта, Г. Г. Лютий : 36 наук. праць Укр. держ. геологорозвідального ін-ту. – К., 2011. – № 1. – С. 104–116.

Lyuta N.H., Lyutyi H.H., (2011). Geochemical processes in aeration zone as a factor of groundwater formation of the chemical composition of soil and shallow aquifers [Geokhimichni protsesy v zoni aeratsiyi yak faktor formuvannya khimichnoho skladu pidzemnykh vod ґruntovykh i subґruntovykh horyzontiv.]. Zbirka naukovykh prats Ukrayinskoho derzhavnogo heolohorozviduvalnogo instytutu – Transactions of the Ukrainian State Geological Research Institute, Kyiv, 1, 104-116 (In Ukrainian).

7. Edmunds W. M. Natural Groundwater Quality. Groundwater Baseline Quality (Ch. 1) / W. M. Edmunds, P. Shand // Blackwell Publishing Ltd. – 2008. – P. 1–21.

Надійшла до редколегії 01.09.14

L. Shevchuk, Postgraduate Student  
E-mail: fnks@ukr.net  
Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv  
90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022 Ukraine

## **GEOCHEMICAL ENVIRONMENT AND CHANGES IN GROUNDWATER CHEMISTRY (A CASE STUDY OF GROUNDWATER INTAKE IN LUHANSKA OBLAST)**

*Drinking water availability is essential for sustainable development of any country. Groundwater sources being more protected than surface ones, this determines their importance for any national economy. Providing industrially developed regions with drinking water is becoming particularly vital and crucial nowadays. Luhanska oblast is characterized by diversified economy, with processing industry being dominant. The main source of centralized drinking water supply in the region is fresh groundwater obtained from marly-chalk thickness, which quality is deteriorating. The increase in groundwater salinity is caused by an increase in sulphate and chlorides concentration in groundwater.*

*Several hypotheses about the groundwater quality deterioration within Luhanska oblast have been proposed; however, no primary reasons have been validated yet. Since the chemical composition of groundwater depends on the composition of soils in many cases, it is relevant to study hydro-geochemical conditions of the area. The aim of the paper is to highlight geochemical processes in the geological environment and their impact on groundwater chemistry. Data from water extracts helped to reveal the ways of chemical compounds distributing with depth, and to build the graphs. In order to establish a correlation between the groundwater quality and the soil chemistry in the aeration zone there was made a map showing maximum variation in groundwater salinity within marly-chalk thickness aquifer. Spatial analysis of groundwater salinity variations was carried out based on interpolation. Quantitative data were put together by the Sturges formula. The research reveals the highest salinity to be observed in the water extracts taken from loam and clay. Spatial analysis shows the areas within which groundwater quality deteriorates. Peak values of groundwater salinity variations are confined to the areas of clay rocks in weathered crusts, while salt formations occur in unsaturated zone. Research findings helped to establish a correlation between hydro-geochemical environment and groundwater chemical composition. Research aimed at identifying the causes for changes in groundwater macrocomponent composition in marly-chalk thickness over time has practical implications for further research into groundwater quality, for the aquifers located in the unsaturated zone vicinity, namely.*

**Keywords:** hydrogeology, groundwater quality deterioration, salinity, sulphates, chlorides, hydro-geochemical conditions, water extraction, unsaturated zone, clay rocks.

Л. Шевчук, асп.  
E-mail: fnks@ukr.net  
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,  
УНІ "Інститут геології", ул. Васильківська, 90, г. Київ, 03022, Україна

## **ВЛИЯНИЕ ГЕОХИМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ИЗМЕНЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД (НА ПРИМЕРЕ ВОДОЗАБОРОВ ЛУГАНСКОЙ ОБЛАСТИ)**

*Обеспеченность питьевой водой является залогом устойчивого развития любого государства. В связи с этим в последнее время роль подземных вод возрастает, поскольку они являются более защищенными, чем поверхностные. В регионах с развитой промышленностью вопрос обеспеченности питьевой водой приобретает наибольшую актуальность. Луганская область характеризуется многоотраслевым комплексом, в котором ведущую роль играет перерабатывающая промышленность. Основным источником централизованного питьевого водоснабжения являются пресные подземные воды мергельно-меловой толщи, качество которых ухудшается. Рост величины минерализации подземных вод обусловлен повышением концентрации сульфатов и хлоридов в подземных водах. Существует несколько мнений относительно ухудшения качества подземных вод в пределах Луганской области, однако вопрос о причинах такого явления остается открытым. Поскольку химический состав подземных вод во многом зависит от состава почвы, целесообразно рассмотреть гидрогеохимические условия данной территории. Целью статьи является освещение влияния геохимических процессов в геологической среде на химический состав подземных вод.*

*Основные закономерности распределения химических соединений по глубине были проанализированы с помощью данных водных вытяжек и построены соответствующие графики. В целях установления связи между качеством подземных вод и химическим составом почвы зоны аэрации была построена карта-схема максимальных изменений минерализации подземных вод в мергельно-меловом водоносном горизонте. Пространственный анализ максимальных изменений минерализации подземных вод был исследован методом интерполяции. Группировка данных по количественному признаку произведена по формуле Стерджесса.*

*В результате исследований установлено, что наибольшая минерализация была зафиксирована по вытяжкам, отобраным из сулинков и глин. Благодаря пространственному анализу выявлены основные участки, в пределах которых происходит ухудшение качества подземных вод. Максимальные изменения величин минерализации подземных вод приурочены к участкам, в пределах которых распространены глинистые породы в коре выветривания, а в зоне аэрации присутствуют солевые образования. Таким образом, в результате исследований установлена связь между гидрогеохимическими условиями геологической среды и химическим составом подземных вод. Исследования направлены на выявление причин изменения во времени макрокомпонентного состава подземных вод в мергельно-меловой толще и имеют практическое значение для работ по прогнозированию качества подземных вод, прежде всего для водоносных горизонтов, залегающих вблизи к зоне аэрации.*

**Ключевые слова:** гидрогеология, ухудшение качества подземных вод, минерализация, сульфаты, хлориды, гидрогеохимические условия, водные вытяжки, зона аэрации, глинистые породы.

Наукове видання



# ВІСНИК КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

## ГЕОЛОГІЯ

Випуск 4(67)

Статті подано в авторській редакції.

Комп'ютерна верстка та коректування Ю.А. Тимченко

Оригінал-макет виготовлено Видавничо-поліграфічним центром "Київський університет"

Responsibility for the opinions given, statements made, accuracy of the quotations, economical and statistical data, terminology, proper names and other information rests with the authors. The Editorial Board reserves the right to shorten and edit the submitted materials. Manuscripts will not be returned.

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 електронні носії не повертаються.



Формат 60x84<sup>1/8</sup>. Ум. друк. арк. 10,11. Наклад 300. Зам. № 215-7377.  
Вид. № Гл4. Гарнітура Arial. Папір офсетний. Друк офсетний.  
Підписано до друку 31.12.14

Видавець і виготовлювач  
Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет"  
01601, Київ, б-р Т. Шевченка, 14, кімн. 43  
☎ (38044) 239 32 22; (38044) 239 31 72; тел./факс (38044) 239 31 28  
e-mail: vpc@univ.kiev.ua  
http: vpc.univ.kiev.ua  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1103 від 31.10.02