

Присвячується 75-річчю

**ННІ "Інститут геології"
Київського національного університету
імені Тараса Шевченка**

DEDICATED TO THE 75TH ANNIVERSARY

**OF INSTITUTE OF GEOLOGY OF
Taras Shevchenko National
University of Kyiv**

УДК 504+550+551+552+624

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

Для викладачів, наукових співробітників, аспірантів і студентів.

Видання індексується в наукометричних базах даних Web of Science, Academic Resource Index ResearchBib та Google Scholar.

Published are the results of geological, stratigraphic, paleontological, hydrogeological, geophysical and geoinformation research.

For scientists, professors, graduate and postgraduate students.

Journal is indexed in Web of Science, Academic Resource Index ResearchBib and Google Scholar.

Приведены результаты геологических, стратиграфических, палеонтологических, гидрогеологических, геофизических и геоинформационных исследований.

Для преподавателей, научных сотрудников, аспирантов и студентов.

Издание индексируется в наукометрических базах данных Web of Science, Academic Resource Index ResearchBib and Google Scholar.

Відповідальний за випуск О.І. Меньшов

ВІДПОВІДАЛЬНИЙ РЕДАКТОР**РЕДАКЦІЙНА
КОЛЕГІЯ**

В.А. Михайлов, д-р геол. наук, проф.

І.М. Безродна, канд. геол. наук, ст. наук. співроб. (заст. відп. ред.); О.І. Меньшов, д-р геол. наук (відп. секр.); В.Г. Бахмутов, д-р геол. наук, ст. наук. співроб.; 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.; О.В. Дубина, д-р геол. наук, В.М. Загнітко, д-р геол.-мінералог. наук, проф.; В.І. Зацерковний, д-р техн. наук, проф.; О.М. Іванік, д-р геол. наук, проф.; О.М. Карпенко, д-р геол. наук, проф.; М.М. Коржнев, д-р геол.-мінералог. наук, проф.; І.М. Корчагін, д-р фіз.-мат. наук, ст. наук. співроб.; О.Є. Кошляков, д-р геол. наук, проф.; В.Г. Лозицький, д-р фіз.-мат. наук, ст. наук. співроб.; Б.П. Маслов, д-р фіз.-мат. наук, проф.; О.В. Митрохин, д-р геол. наук, проф.; П.О. Міненко, д-р фіз.-мат. наук, проф.; Г.П. Міліневський, д-р фіз.-мат. наук, ст. наук. співроб.; В.А. Нестеровський, д-р геол. наук, проф.; В.В. Огар, д-р геол. наук, проф.; М.І. Орлюк, д-р геол. наук, проф.; О.Л. Шевченко, д-р геол. наук, ст. наук. співроб.; 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.

Іноземні члени редакційної колегії:

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; Г. Кулієв, Інститут геології та геофізики НАН Азербайджану; 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

Адреса редколегії

ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, Київ-22, 03022
☎ 380442597030, електронна адреса: geolvisnyk@ukr.net;
<http://www.geolvisnyk.univ.kiev.ua/>

Затверджено

Вченою радою ННІ "Інститут геології"
12 березня 2019 року (протокол № 10)

Атестовано

Вищою атестаційною комісією України.
Постанова Президії ВАК України
№ 1-05/6 від 12.06.02

Зареєстровано

Міністерством юстиції України.
Свідоцтво про Державну реєстрацію КВ № 23534-13374 від 08.08.18

**Засновник
та видавець**

Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет"
Свідоцтво внесено до Державного реєстру
ДК № 1103 від 31.10.02

Адреса видавця

01601, Київ-601, 6-р Т.Шевченка, 14, кімн. 43
☎ (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.

For scientists, professors, graduate and postgraduate students.

Jornal is indexed in Web of Science, Academic Resource Index ResearchBib and Google Scholar.

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

Для викладачів, наукових співробітників, аспірантів і студентів.

Видання індексується в наукометричних базах даних Web of Science, Academic Resource Index ResearchBib та Google Scholar.

Приведены результаты геологических, стратиграфических, палеонтологических, гидрогеологических, геофизических и геоинформационных исследований.

Для преподавателей, научных сотрудников, аспирантов и студентов.

Издание индексируется в наукометрических базах данных Web of Science, Academic Resource Index ResearchBib and Google Scholar.

Chief publication manager O. Menshov

EXECUTIVE EDITOR

EDITORIAL BOARD

V. Mykhailov, Dr. Sci. (Geol.), Prof.

Ukrainian Members:

I. Bezrodna, Cand. Sci. (Geol.), Senior Researcher (Deputy Executive Editor); O. Menshov, Dr. Sci. (Geol.), (Executive Secretary); V. Bakhmutov, Dr. Sci. (Geol.), Senior Researcher; S. Vyzhva, Dr. Sci. (Geol.), Prof.; Z. Vyzhva, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.; Guliy, Dr. Sci. (Geol.), Prof.; O. Dubyna, Dr. Sci. (Geol.); V. Zagnitko, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof.; V. Zacerkovniy, Dr. Sci. (Tech.), Prof.; O. Ivanik, Dr. Sci. (Geol.), Prof.; O. Karpenko, Dr. Sci. (Geol.), Prof.; M. Korzhnev, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof.; I. Korchagin, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Senior Researcher; O. Koshliakov, Dr. Sci. (Geol.), Prof.; Prof.; V. Lozitsky, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Senior Researcher; B. Maslov, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.; O. Mytrokhin, Dr. Sci. (Geol.), Prof.; P. Minenko, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.; G. Milinevskiy, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Senior Researcher; V. Nesterovskiy, Dr. Sci. (Geol.), Prof.; V. Ogar, Dr. Sci. (Geol.), Prof.; M. Orliuk, Dr. Sci. (Geol.), Prof.; O. Shevchenko, Dr. Sci. (Geol.), Senior Researcher; V. Shevchuk, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof.; S. Shnyukov, Dr. Sci. (Geol.), Assoc. Prof.; T. Pastushenko, Cand. Sci. (Phil.), Assoc. Prof.; T. Mironchuk, Cand. Sci. (Phil.), Assoc. Prof.

Foreign members:

M. Burianyk, Shell Global Solutions International, The Netherlands; L. Vernik, Marathon Oil Company, USA; A. Vesnaver, Italian National Institute of Oceanography and Applied Geophysics, Italy; H. Guliyev, Institute of Geology and Geophysics of ANAS, Azerbaijan; 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 Federoco II, Italy; O. Khanchuk, Far East Geological Institute, Russia

Address

Institute of Geology, 90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022 Ukraine,
tel. +380442597030, e-mail: geolvisnyk@ukr.net;
<http://www.geolvisnyk.univ.kiev.ua/>

Approved by the

Academic Council of the Institute of Geology
March 12, 2019 (Minutes #10)

Certified by the

Higher Attestation Board
(the State Commission for Academic Degrees and Titles), Ukraine
Edict # 1-05/6 issued on 12.06.2002

Certified by the

Ministry of Justice of Ukraine
State Certificate # 23534-13374 issued on 08.08.18

Founded and published by

Taras Shevchenko National University of Kyiv,
Kyiv University Publishing
State Certificate # 1103 issued on 31.10.2002

Address:

Office 43, 14 Shevchenka Blvd, Kyiv, 01601
☎ (38044) 239 31 72, 239 32 22; Fax 239 31 28

ЗАГАЛЬНА ТА ІСТОРИЧНА ГЕОЛОГІЯ

Аїссі А., Чікхауї Ю., Канлі А. І., Бенселгуб А., Арізнабаррета Ф.	
Оцінка стійкості схилу у відкритому кар'єрі в Хаммам Далаа (Мсила, Алжир)	8
Баран А.	
Закономірності зв'язків між потужностями і поширеністю теригенних відкладів на прикладі осадового чохла півночі Українського щита.....	14
Попова Л., Крочак М., Крохмаль О., Циж Є.	
Середньоплейстоценова мікротеріофауна печерного місцезнаходження Віняви (Львівська область).....	23

МІНЕРАЛОГІЯ, ГЕОХІМІЯ ТА ПЕТРОГРАФІЯ

Тіхлівець С.	
Морфологічні особливості магнетиту та кварцу продуктивної товщі Північного району Криворізького басейну	28

ГЕОФІЗИКА

Вижва С., Онищук В., Онищук І., Рева М., Шабатура О.	
Електричні параметри порід верхнього карбону Руновщинської площі Дніпровсько-Донецької западини	37
Ахмедов Т.	
Нафтогазоносність міоценових відкладів площі Зих-Говсан у світлі даних свердловинної сейсмозв'язки	46
Вольвач А., Курбасова Г.	
Модель інсоляції поверхні Землі в пункті "Карадаг" за даними SSE	51
Круглов О., Меньшов О., Назарок П., Коляда Л., Коляда В., Ачасова А.	
Магнітна сприйнятливість ґрунтів у складі ерозієзнавчих досліджень	59
Дубей Н.	
Вплив геологічної неоднорідності пластів на роботу підземних газосховищ.....	65

ГЕОЛОГІЯ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН

Рудько Г., Михайлів І.	
Стандарт PRMS-SPE: методичні аспекти, результуюча звітність і можливість застосування до ГЕО запасів нафти і газу в Україні	72

ГЕОЛОГІЧНА ІНФОРМАТИКА

Лубков М.	
Оцінка процесу заповнення газового ковпака геосолітонного родовища	82
Зацерковний В., Плічко Л., Богославський М.	
Аналіз підходів щодо створення математичної моделі для задач моніторингу природно-техногенних систем на основі визначення імовірності поступових відмов	86

ПОДІЇ

Михайлов В.	
Геологічному факультету – 75 років!	92

CONTENTS

GENERAL AND HISTORICAL GEOLOGY

Aissi A., Cheikhaoui Y., Kanli A. I., Benselhoub A., Ariznavarreta F. Slope stability assessment in the opencast quarry in Hammam Dalaa (M'sila, Algeria)	8
Baran A. Patterns of ties between thickness and spreading of terrigenous sediments on the example of Ukrainian shield in the north	14
Popova L., Krochak M., Krokhmal' O., Tzyzh E. Middle Pleistocene small mammal fauna of the cave locality at Vynavy (L'viv region).....	23

MINERALOGY, GEOCHEMISTRY AND PETROGRAPHY

Tikhlivets S. Morphological characteristics of magnetite and quartz in the productive strata of Northern district of Kryvyi Rih basin	28
--	----

GEOPHYSICS

Vyzhva S., Onyshchuk V., Onyshchuk I., Reva M., Shabatura O. Electrical parameters of the upper carbon rocks (Runovshchynska area of the Dnieper-Donetsk basin).....	37
Ahmadov Tofiq R. The hydrocarbon bearing capacity of Miocene reservoir units in the light of borehole seismic data.....	46
Volvach A., Kurbasova G. Model of insolation of the earth surface in the Kara-Dag locality according to SSE data.....	51
Kruglov O., Menshov O., Nazarok P., Kolada L., Kolada V., Achasova A. Magnetic susceptibility of soil and its significance in erosion studies.....	59
Dubei N. The influence of geological heterogeneity of layers on the work of underground gas storage facilities	65

MINERAL RESOURCES

Rudko G., Mykhailiv I. Standard of PRMS – SPE: methodical aspects, resulting accounting and possibility of application to GEE of oil and gas supplies in Ukraine	72
---	----

GEOLOGICAL INFORMATICS

Lubkov M. Estimation of filling processes in the gas cap of geosoliton field.....	82
Zatserkovnyi V., Plichko L., Bohoslavskyi M. Analysis of the approaches to the development of the mathematical model for the monitoring of natural and anthropogenic systems on the basis of determination of gradual failures probability	86

EVENTS

Mykhailov V. Geological faculty celebrates its 75th anniversary	92
---	----

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩАЯ И ИСТОРИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ

Аисси А., Чикхауи Ю., Канли А. И., Бенселгуб А., Аризнабаррета Ф. Оценка стойкости склона в открытом карьере в Хаммам Далаа (Мсила, Алжир)	8
Баран А. Закономерности связей между мощностями и распространенностью терригенных отложений на примере осадочного чехла севера Украинского щита	14
Попова Л., Крочак М., Крохмаль А., Цыж Е. Среднеплейстоценовая микротериофауна пещерного местонахождения Винявы (Львовская область)	23

МИНЕРАЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ И ПЕТРОГРАФИЯ

Тихливец С. Морфологические особенности магнетита и кварца продуктивной толщи Северного района Криворожского бассейна	28
--	----

ГЕОФИЗИКА

Выжва С., Онищук В., Онищук И., Рева Н., Шабатура А. Электрические параметры пород верхнего карбона Руновщинской площади Днепро-Донецкой впадины	37
Ахмедов Т. Нефтегазоносность миоценовых отложений площади Зых-Говсан в свете данных скважинной сейсморазведки	46
Вольвач А., Курбасова Г. Модель инсоляции поверхности земли в пункте "Карадаг" по данным SSE	51
Круглов А., Меньшов А., Назарок П., Коляда Л., Коляда В., Ачасова А. Магнитная восприимчивость почв в составе эрозиеведческих исследований	59
Дубей Н. Влияние геологической неоднородности пластов на работу подземных газохранилищ	65

ГЕОЛОГИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Рудько Г., Михайлив И. Стандарт PRMS-SPE: методические аспекты, результирующая отчетность и возможность применения к ГЕО запасам нефти и газа в Украине	72
--	----

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИНФОРМАТИКА

Лубков М. Оценка процесса наполнения газового колпака геосолитонного месторождения	82
Зацерковный В., Пличко Л., Богославский М. Анализ подходов к созданию математической модели для задач мониторинга природно-техногенных систем на основе определения вероятности постепенных отказов	86

СОБЫТИЯ

Михайлов В. Геологическому факультету – 75 лет!	92
---	----

УДК 551.3

A. Aissi, PhD
E-mail: adel.aissi@ensmm-annaba.dz;
Y. Cheikhaoui, PhD student
Ecole Nationale Supérieure des Mines et Métallurgie, Département Génie Minier
Sidi Amar, Chaiba, Annaba 23000, Algérie;
A.I. Kanli, PhD, Professor of Geophysics
E-mail: kanli@istanbul.edu.tr
Department of Geophysical Engineering
34320 Avcilar Campus, Istanbul University, Istanbul, Turkey;
A. Benselhoub, PhD (Ecology)
E-mail: benselhoub@yahoo.fr
Dnipro state agrarian and economic university, Dnipro, Ukraine;
F. Ariznavarreta, Ph. D (Mining Engineering)
E-mail: ariznaf@uniovi.es
Department of Mining Exploitation and Prospecting, Oviedo University, Oviedo, Spain

SLOPE STABILITY ASSESSMENT IN THE OPENCAST QUARRY IN HAMMAM DALAA (M'SILA, ALGERIA)

(Представлено членом редакційної колегії д-ом геол. наук, проф. О. М. Іванік)

The aim of this study is to identify the main factors that affect the site's stability by using the adequate solutions, which help to solve the problems of slope stability at the quarry of Chouf Amar, Hammam Dalaa, Algeria.

A large amount of geological, hydrogeological and mechanical data has been collected from the site. We realized the study of the influence of different factors on the safety coefficient.

Limit equilibrium techniques have been adapted, taking into account the variability of the site data, to analyze the performance of the existing area of production site.

Results solution under different configurations has shown that stability index is highly affected by hydraulic and seismic factors.

Keywords: slope stability, limit equilibrium, safety factor.

Introduction and previous work. Mining, like all other sectors of industry, has to face the challenges of the 21st century. The challenges do not merely include competitiveness efficiency and respect of the environment, but also include security.

That last one is an increasingly important component when all the risks are involved in mining works (*Tincelin et al., 1982; Piquet, 1999; Piquet et al, 2014*).

In the case of quarries, this problem is crucially important to ensure the production continuity, to avoid reserve loss, and the most important, to preserve human life.

For the current work the rupture modes to develop within the context of the Chouf Amar quarry was delimited to establish the best technical solutions for the operation safety while ensuring an efficient economic development. Moreover, each design is unique and should be established in relation to the specific conditions of the site according to (*Flamme, 2010; Priest and Brown, 1983; Hantz, 2012*).

In this study, the approach is the Equilibrium method to assess overall pit slope stability in the limestone quarry of Chouf Amar. According to (*Hudson and Harrison, 1997; Wyllie and Mah, 2004; Hoek, 2007; Brown, 1983*).

To undertake our study, different classifications criteria and the assessment of Rock-Mass Properties were applied, starting with Mohr-Coulomb using the Hoek and Brown failure criterion, applying corrections by the weakness coefficient, as well as through the tests that have been done in the National Higher School of Mines and Metallurgy laboratory.

The geological and hydrogeological conditions should be taken into account. Thus, the drained and undrained conditions, including water infiltration into the marl layers (a layer of soap) have been evaluated while applying the recommendation of counted Eurocode 7. To complete our analysis, the exploitation of the recording data of the seismic waves caused by the blasting with the explosive has been counted Eurocode 8 (*Kanli et al., 2006*).

Situation and morphology. The study area is approximately 250 km from Algiers, 10 km north-west of the town of M'sila on the southern foothills of the Hodna Mountains. The deposit is located along the Chouf Amar. Morphologically, the site occupies the southern flank of an elongated mountain bar in the SO-NE direction. The area of the site is included in the Atlas Tellian. Geologically, the region consists of sedimentary formations of secondary and tertiary lying in monoclinical form with a general dip to the south.

Study Area and Analysis of the Problem. Slope-stability conditions at Chouf Amar are generally bad. In 2004, the large-scale instabilities were observed in the Chouf Amar quarry (fig. 1) at the levels of 815, 830, 845, and 860 m; the reserve loss was estimated about 6 million tonnes of limestone, 3450520 tonnes in the upper sliding level A and 2581176 tonnes in the lower level B, as shown in (fig. 2).

Laying out the main material. The calculation of the slope stability consists of evaluating the stability; a deterministic limit-equilibrium approach was selected by evaluating moment and force equilibrium within the slope. For this, mechanical properties for intact rock were determined from laboratory tests, and rock-mass classification ratings using the Hoek-Brown approach were used.

The main geological formations, which can be observed in the quarry are:

1. A step when specific geological feature is traversed by a discontinuity (intercalation of a marl layer between the layers of limestone) as (fig. 3) represents.
2. A step limestone without intercalation (not taking into account the marl intercalation because of their low dip).

For the first case "major problem" is: several factors directly influenced the stability in the quarry, we quote them as follows:

- Current case where the marl layer is dry;
- Water infiltration into the marl layers (layer of soap) (see (fig. 4));
- The effect of seismic waves caused by blasting.

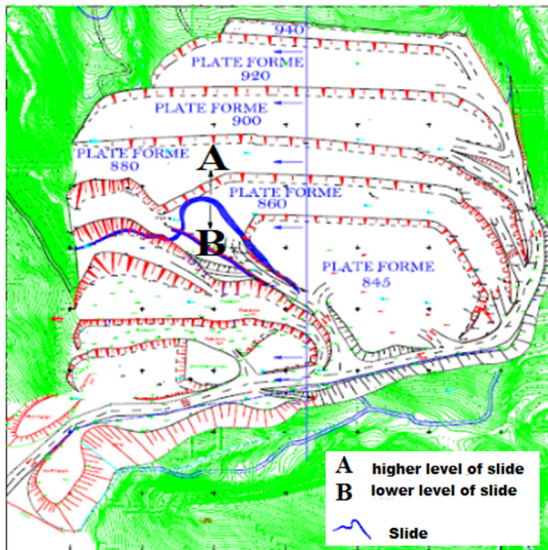


Fig. 1. Slide location (internal report of the company, M'sila TMN° 2006PXC (2015))

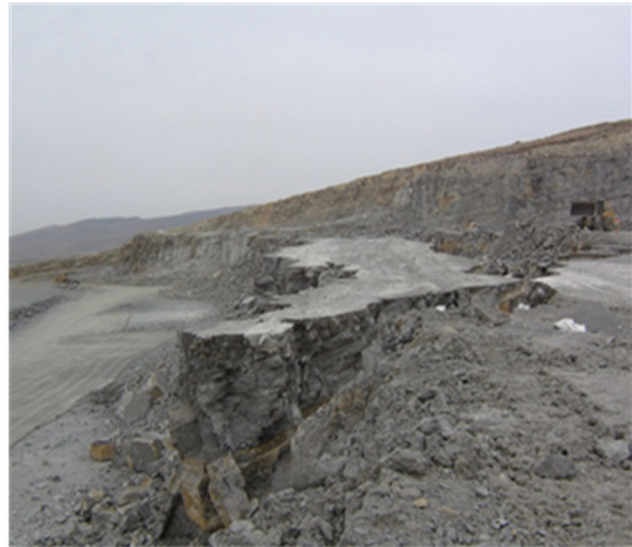


Fig. 2. Slide dimension of the study area

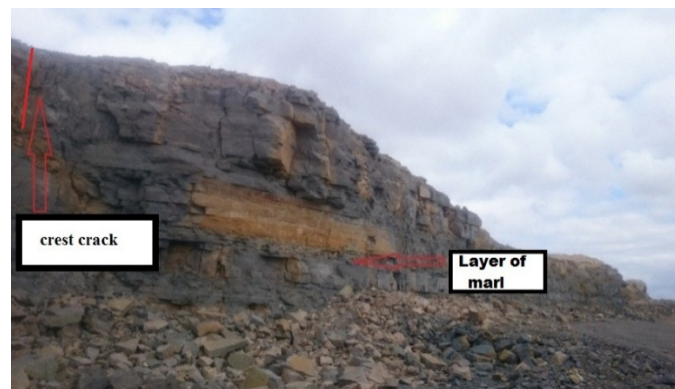


Fig. 3. Formation of the step at the level of the Chouf Amar quarry in the presence of a crest crack

The critical configuration is the development of the exploitation process in the critical geological condition, which lead to a general instability on the whole, accentuated by the orientation of the discontinuity (in the direction of the works). A marl intercalation is added to the building, which considerably increase the slope instability because that last has a tendency to lose its characteristics in presence of water (soap layer), as shown in the (fig. 4).

After analyzing the geological sections in the study area, we noticed the presence of an intercalation of marl layers between limestone formations with a direction parallel to the slope; this configuration has been mentioned as a geological condition favourable to the triggering of a sliding. According to (Cruden and Varnes, 1996) and several other studies, therefore, it is necessary to use the Geologic Structure Data for Slope evaluation.

Water infiltration in this sensitive geological formation (marl) is another essential factor, which has been the cause of a several disruptions (Fleurisson et al., 2014).

Moreover, blasting that generates seismic detonation waves which have been a continual problem for the slope stability and the public living near the mining operation must also be analysed according to Evgueni's recommendations (Keefer, 1984). This effect has the recorded measurements of different seismograph in the area so the object of our studies has been exploited. Finally, the operation's orientation and the position of the quarry opening were taken into consideration. This approach is used to understand the mechanism of rupture and to prevent a possible slide similar to that of the year 2004.

Collected Data. Geological Data. The first operation carried out is the dip measurements of the layers by an inclinometer of a geologist's compass. The obtained values have been classified according to the appropriate areas at their levels as follows:

1. In levels 1020, 1035, 1050 (area of limestone formation C1 their dip ranges from 8° to 10°).
2. In the levels 1000, 980, 960, 940, 920 (area of limestone formation C2 their dip 20°).
3. In levels 900, 880, 840 (area of limestone formation C3 there dip 18°).

Calculation and Estimation of the Internal Friction Angle and Cohesion. To achieve our purpose, we had to collect a certain amount of information concerning the rocks constituting the slope needed (angle of internal friction, cohesion etc.) For the marl, we could count on the National Higher School of Mines and Metallurgy-Annaba- laboratory to carry out the necessary tests.

Cohesion and internal friction angle of the marl using a direct shear test. The shear test was carried out in the mine laboratory. The table 1 below summarizes all the obtained results.

Estimation of internal friction angle and the cohesion of limestone of the Chouf-Amar quarry. The estimation of cohesion and internal friction angle of our limestone rock massif in the Chouf Amar quarry is determined by two criteria which are Structural coefficient of weakening (Ameratunga et al., 2016), and Mohr Coulomb using Hoek-Brown classification of the rock massif (table 2).



Fig. 4. Wet marl layer

Table 1

Cohesion and internal friction angle of the marl values

		Sample 1	Sample 2	Sample 3	Medium
Case drained	Cohesion (KPa)	48,6	42,97	45,64	45,74
(Dry marl)	Internal friction angle Φ (°)	21,15	18,88	19,81	19,95
Case not drained	Cohesion (KPa)	25,06	26,52	22,29	24,62
(Wet marl)	Internal friction angle Φ (°)	17,64	17,01	16,17	16,94

Table 2

Cohesion and internal friction angle by two estimation methods

		Layer 1	Layer 2	Layer 3
Rock massif of limestone	Criterion of Hoek and Brown and Mohr Coulomb	Cohesion (MPa)	0,512	0,445
		Internal friction angle Φ (°)	29,68	27,21
	Structural weakening coefficient method	Cohesion (MPa)	0,54	0,62
		Internal friction angle Φ (°)	29,15	29,15

According to the obtained results, there's a discrepancy related to the estimation method, but, on the whole, they gave close values. In our calculation, we used the results obtained by criterion Mohr Coulomb with the help of Hoek and Brown classification as it gives a correlation over 99 %.

Calculation of safety factor F_s . The main objectives of a slope stability analysis include assessing the risk of rupture through the calculation of the overall safety factor for a slope and locating along the slide surface the areas, which have strong rupture potential on the other hand.

Slope stability is usually analysed by limit equilibrium methods (Cho and Lee, 2001; Cai and Ugai, 2004; Rahardjo et al., 2007; Huang and Jia, 2009), but these calculation methods assume that the land behaves like a solid which obeys the classical laws of rupture by shear. The formulas extracted from (Pariseau, 2006), in our case the calculation of the safety factor (F_s) of the different cases is calculated using Excel programme.

Bench with marl intercalation. The results are summarized in the following table 3.

Table 3

Parameters results for the safety factor calculating

Bench (level)	High of the bench H (m)	The high of the marl layer h (m)	The slope angle ψ_f (°)	Dipping of the marl layer ψ_p (°)	Z critical (m)	b critical (m)	Surface of slide A (m ²)	Weight Volume W (KN/m ³)
1050	20	20	80	8	16,857	22,271	22,609	11590,79
1035	15	15	80	10	12,402	15,101	14,927	5863,26
1020	15	15	80	8	12,642	16,659	16,956	6505,34
1000	20	20	80	20	14,687	13,103	14,203	6462,26
980	20	20	80	20	14,687	13,103	14,203	6462,26
960	20	20	80	20	14,687	13,103	14,203	6462,26
940	20	20	80	20	14,687	13,103	14,203	6462,26
920	20	20	80	20	14,687	13,103	14,203	6462,26
900	20	20	80	18	15,248	14,671	15,376	7361,49
880	20	20	80	18	15,248	14,671	15,376	7361,49
860	20	20	80	18	15,248	14,671	15,376	7361,49

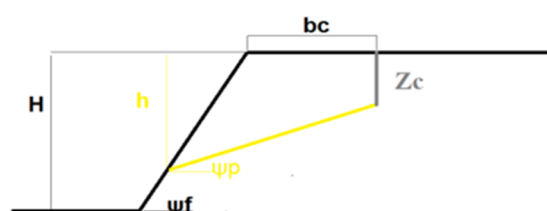


Fig. 5. Diagrams represent the crest crack in a slope

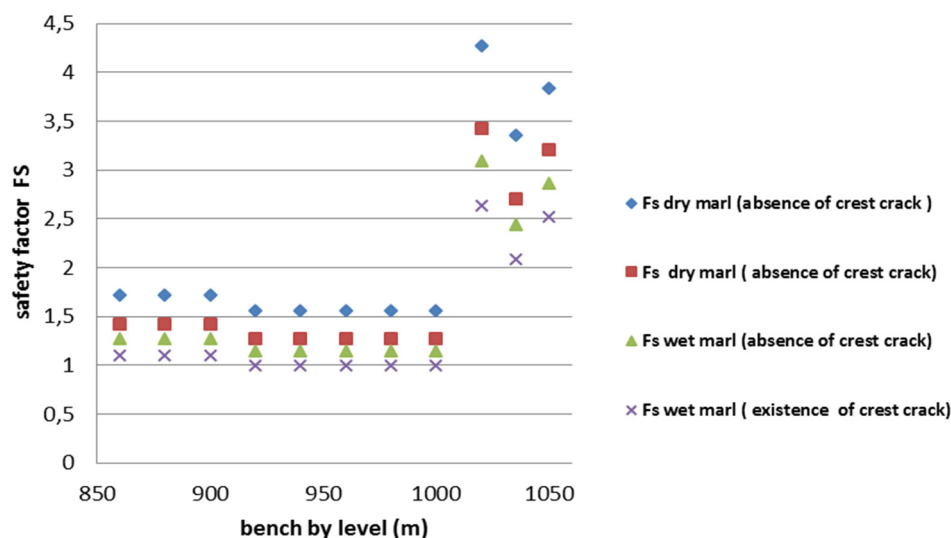


Fig. 6. Results of the parameters to calculate Fs in the case of existence of the crack crest

When the value of the existence depth (see (fig. 5)) of marl layer (h) in the slope face takes the step height value (H), the safety factor (Fs) assumes minimum values as shown in the (fig. 6).

There is the relationship between composite slope angles versus slope height which were derived the critical lithological state, where a big stability in the levels 1020, 1035 and 1050, less than in the other levels. This stability is caused by the slide surface A increasing, comparing to the crest crack existence case.

Blasting effect. (Crandell, 1949) recommends using the ratio $(\frac{a^2}{r^2})$, which is proportional to the kinetic vibration energy (Panet and Caracilli, 1969):

$$E_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2 = (\frac{1}{2} \cdot \frac{m}{4 \cdot \pi^2}) (\frac{a^2}{f^2}),$$

Where v – the maximum velocity vibration (m/s); A – the maximum acceleration vibration (m/s²); F – vibrations' frequency (Hz).

Measurements on the ground of speed and seismic waves are frequently made with a seismograph. The maximum acceleration's vibration and seismic coefficients are shown in the following table 4.

In our case study, we'll use the largest value (of the 100 m station) because it influences stability, which is far more important.

Table 4

Particle Measurements with a seismograph and seismic coefficient value K		
Measuring distance	100 meters	500 meters
Seismic wave speed v (mm/s)	6,9	4,46
Frequency of the seismic wave f (Hz)	14,2	9,8
The maximum vibration acceleration a (m/s ²)	0,615	0,274
Seismic coefficient K	0,062	0,027

Normal state (dry marl). The safety factors presented for the case of the dry marl in the existence and absence of crest crack to well show the variation of safety factor Fs.

It is important to note that in the dry marl case, the effect of the seismic wave caused by the blasting has an influence on the Fs such as that in the existence of the crest crack case. There is instability except on the bench of the Levels 1020, 1035 and 1050. Moreover, in the absence of a crest crack there is a decrease in Fs but the benches are stable despite the blasting effect.

Critical state (wet marl). In the wet marl case, the quarry is in a critical state of stability, especially on the levels (1000, 980, 960, 940, 920). This problem requires a study on the blasting effect. The results of calculations are presented in the following curves.

The results of the slope-stability analyses in this configuration under static and blasting conditions indicate that the designed ore side-slopes will be unstable except those in the Level 1020, 1035, 1050.

The seismic coefficient in the blasting case is evaluated from ($k_s = 0.0627$) at a distance of 100 meters, which can become larger in closer distance (possibility of taking the value of coefficient which is related to the earthquake $k_s = 0,1$).

The seismic waves produced outside the blasting have a great impact on the safety factor (Fs), as (fig. 7) shows the decrease of Fs in each step.

Limestone step without consideration to marl intercalation. In the quarry, there is a certain step with low dip of marl intercalation in the Western part, an evaluation of the stabilities, the steps in the levels 1020, 1035 and 1050 (fig. 8) are the biggest, they have been chosen to get a general idea on the Fs of this case, the obtained results show that they are very stable.

To make the calculations, we need the following parameters: $\gamma_r = 26,7$ KN/m³, $c = 512$ KPa, $\Phi = 29,68^\circ$, $\psi_f = 70^\circ$.

The rupture critical plane angle has been calculated, according to (Wyllie and Mah, 2004) (table 5).

In the dip of the weak marl layer case, the limestone steps are stable in the normal state or under the effect of the blasting.

Solutions and Recommendations. It is strongly recommended to start all the interventions by the top of the quarry, progressing down more precisely, it is suggested to open the necessary trenches to redirect the exploitation from East-west axis to West-East, as shown below (fig. 9).

In the first phase, it is proposed to leave a heap of blasting (against weight) in the north direction to decrease the risk of slide before advancing from West to East. In the end, the reliability of solution is ensured by the creation of a drainage system to prevent water infiltration.

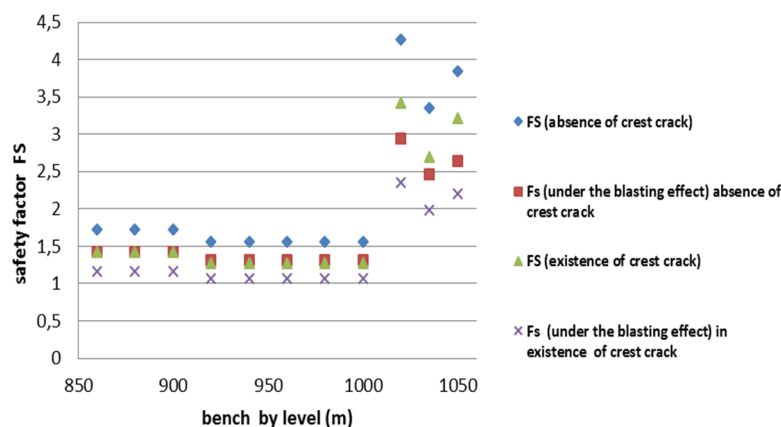


Fig. 7. Safety factors' results

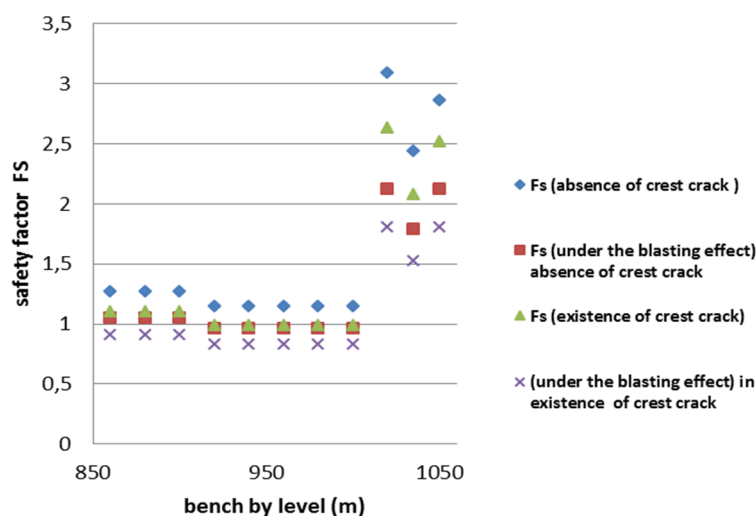


Fig. 8. Results of the safety factors under the influence of blasting in the case of wet marl

Table 5

Parameters' calculation and safety factor (limestone without marl intercalation's case)

Bench (level)	Z critique (m)	b critique (m)	A (m ²)	W (KN/m ³)	Fs	Fs (seismic case ks = 0,1)
1020	9,178	6,342	12,627	2169,927	3,819	3,548

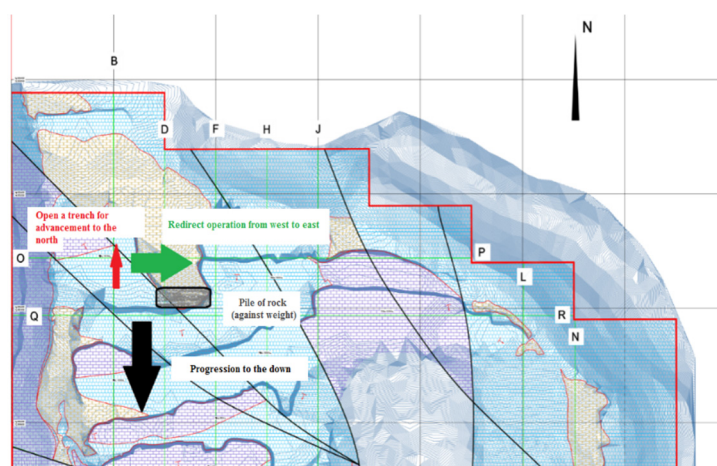


Fig. 9 Solution processors set

Conclusions. The acquired experience during this study shows that a particular precaution mainly related to the behaviour of the mining slope must be taken.

From the obtained results we can draw the following conclusions:

1. The physico-mechanical parameters of the strata are of poor quality and this has been observed from the drained and undrained case.

2. Measurements using a geologist's compass show that the marl diapers vary from 8° to 20° according to their position in the limestone formations (Layer 1, Layer 2, Layer 3).

3. Blasting at the Chouf Amar quarry produces seismic waves, which confirmed to have a significant influence on the quarry site, where the seismic coefficient obtained at a distance of 100 meters from $k_s = 0.0627$ can become larger in a closer distance (Possibility of taking the coefficient value related to the earthquake $k_s = 0,1$).

4. The mechanical and physical properties of the marl have shown to be highly altered by water infiltration.

5. In case of weakness of the marl layers dip, the limestone benches are stable in the normal state or under the effect of blasting.

In the light of these results, it becomes clear that the operational direction should be changed to avoid all the potential risks of land slide, putting potential workers and mobile equipment at risk. This progression change has demonstrated some complications mainly due to the fault zones; the counter force pile is one of the proposed solutions for all the fronts of size at risk.

Acknowledgements. The authors are gratefully acknowledged to the Laboratory of Mining, Metallurgy and Materials (L3M), National Higher School of Mining and Metallurgy, Annaba-Algeria, Lafarge-Holcim M'sila and all colleagues contributed to this research work.

Reference

- Abramson, L. W. (2002). Slope stability and stabilization methods. Wiley, New York.
- Ameratunga, J., Sivakugan, N., Das, B. M. (2016). Correlations of Soil and Rock Properties in Geotechnical Engineering. Springer India. DOI 10.1007/978-81-322-2629-1
- Cai, F., Ugai, K. (2004). Numerical analysis of rainfall effects on slope stability. *International Journal of Geomechanics*, 4(2).
- Chapot, P. (1981). Etude des vibrations provoquées par les explosifs dans les massifs rocheux. Ministère de l'urbanisme et du logement ministère des transports. Laboratoire central des pont et chaussées. *Rapport de recherche LPC N°105*.
- Cho, D. H., Lee, S. K., Kim, B. T., No, K. T. (2001). Quantitative structure-activity relationship (QSAR) study of new fluorovinyloxyacetamides. *Bulletin of the Korean Chemical Society*, 22(4), 388–394.
- Crandell, F. J. (1949). Ground vibration due to blasting and its effect upon structures. Boston Society of Civil Engineers.
- Cruden, D. M., Varnes, D. J. (1996). Landslide type and processes: Landslides, investigation and mitigation. National Academy Press, Washington, D. C., 36–75.
- Fleurisson J. A. (1987). Interaction massif rocheux – énergie explosive et stabilité des fronts de taille. Mine à ciel ouvert de Ben Guérir (Office Chérifien des Phosphates). *Thèse de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris. Maroc*.

Fleurisson, J. A., Grenon, M. (2014). Conception géo mécanique des talus des mines à ciel ouvert. Marrakech, Maroc., 65-84. Retrieved from <https://hal-mines-paristech.archives-ouvertes.fr/hal-00979370>

Giani, G. P. (1987). Rock slope stability analysis. Chapitre 4: Shear strength, 77–78.

Gisement de calcaire pour ciment "Chouf Amar". (2015). Province of M'sila TMN° 2006PXC, internal report of the company. *Rapport géologique actualisé*.

Hantz, D. (2012). Risque mouvements de terrain. Département Géotechnique. Polytech Grenoble, France.

Huang, M., Jia, C. Q. (2009). Strength reduction FEM in stability analysis of soil slopes subjected to transient unsaturated seepage. *Computers and Geotechnics*, 36(1-2), 93–101.

Hudson, J. A., Harrison, J. P. (1997). Engineering rock Mechanics: An introduction to the principles. Published by Elsevier.

Kanli, A. I., Tildy, P., Pronay, Z., Pinar, A., Hermann, L. (2006). VS30 Mapping and Soil Classification for Seismic Site Effect Evaluation in Dinar Region, SW Turkey. *Geophysical Journal International*, 165, 1, 223–235.

Keefer, D.K. (1984) Landslides caused by earthquakes. *Bulletin of the seismological society of America*, 95, 406–421.

Laflamme, A. J. (2010). Analyse intégrée de la stabilité des pentes de la fosse portage du projet minier meadowbank. Retrieved from <http://hdl.handle.net/20.500.11794/21867>

Panet, M., Caracilli, J. (1969). Les vibrations produites par les tirs d'explosifs. *Bulletin Laboratoire des Ponts et chaussées*, 38, 105–114.

Pariseau, W. G. (2006). Design Analysis in Rock Mechanic. Slope stability. P. 23–24.

Piguet J. P., Josien J. P., Kouniali S., Bigrare P., Vouille G. (2014). Apport de la mécanique des roches pour l'évaluation et la gestion des risques 'à long terme dans les exploitations minières abandonnées Cas des mines de fer de Lorraine. Retrieved from <https://hal-ineris.archives-ouvertes.fr/ineris-00972174>

Piguet, J. P. (1999). Affaissement et déformations au-dessus des exploitations minières; mécanismes, conséquences et facteurs in-fluents. *Bull. Société géologique du Nord-Apaltre*.

Priest, S. D., Brown, E. T. (1983). Probability stability analysis of variable rock slopes. *Trans. Inst. Min. Metall. (Sect A: Min. Industry)*, 92, January, p. A1-A12.

Rahardjo, H., Ong, T. H., Rezaur, R. B., Leong, E. C. (2007). Factors controlling instability of homogeneous soil slopes under rainfall. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 133(12), 1532–1543.

Tincelin, E. (1982). La stabilité de la surface à l'aplomb des exploitations souterraines en mines métalliques ou assimilées, piliers abandonnés ou ilots. *Revue de l'Industrie Minière*.

Wyllie, D. C., Mah, C. W. (2004). Rock slope engineering, civil and mining. Taylor & Francis. London and New York, 4ème édition, 130–137.

Надійшла до редколегії 11.12.18

A. Aicci, E-mail: adeld85@gmail.com;

Ю. Чікхауї

Національна школа гірничої промисловості та металургії, Аннаба, Алжир;

A.I. Kanli, E-mail: kanli@istanbul.edu.tr

Кафедра інженерної геофізики, Стамбульський університет, Стамбул, Туреччина;

A. Бенселгуб, E-mail: benselhoub@yahoo.fr

Дніпровський державний аграрно-економічний університет, Дніпро, Україна;

Ф. Арізнабаррета, E-mail: ariznaf@uniovi.es

Кафедра гірничої справи та розвідки, Університет Ов'єдо, Ов'єдо, Іспанія

ОЦІНКА СТІЙКОСТІ СХИЛУ У ВІДКРИТОМУ КАР'ЄРІ В ХАММАМ ДАЛАА (МСИЛА, АЛЖИР)

Метою даного дослідження є визначення основних факторів, що впливають на стабільність майданчика, за допомогою адекватних рішень, які допомагають розв'язати проблеми стійкості схилів у кар'єрі Chouf Amar, Hammam Dala, Алжир.

Було зібрано велику кількість геологічних, гідрогеологічних і механічних даних, здійснено дослідження впливу різних факторів на коефіцієнт безпеки.

Методи граничних рівноваг було адаптовано для аналізу продуктивності існуючої площі виробничого майданчика з урахуванням мінливості даних.

Результати досліджень за різних конфігурацій виявили, що на показник стійкості сильно впливають гідралічний та сейсмічний фактори.

Ключові слова: стабільність нахилу, гранична рівновага, коефіцієнт безпеки.

A. Аисси, E-mail: adeld85@gmail.com;

Ю. Чикхауї

Национальная школа горной промышленности и металлургии, Аннаба, Алжир;

A.I. Канлы, E-mail: kanli@istanbul.edu.tr

Кафедра инженерной геофизики, Стамбульский университет, Стамбул, Турция;

A. Бенселгуб, E-mail: benselhoub@yahoo.fr

Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет, Днепр, Украина;

Ф. Аризнабаррета, E-mail: ariznaf@uniovi.es

Кафедра горного дела и разведки, Университет Овьедо, Овьедо, Испания

ОЦЕНКА СТОЙКОСТИ СКЛОНА В ОТКРЫТОМ КАРЬЕРЕ В ХАММАМ ДАЛАА (МСИЛА, АЛЖИР)

Целью данного исследования является определение основных факторов, влияющих на стабильность площадки, с помощью адекватных решений, которые помогают решить проблемы устойчивости склонов в карьере Chouf Amar, Hammam Dala, Алжир.

Было собрано большое количество геологических, гидрогеологических и механических данных, проведено исследование влияния различных факторов на коэффициент безопасности.

Методы граничных равновесий были адаптированы для анализа производительности существующей площади производственной площадки с учетом изменчивости данных.

Результаты исследований при различных конфигурациях показали, что на показатель устойчивости сильно влияют гидравлический и сейсмический факторы.

Ключевые слова: стабильность наклона, предельное равновесие, коэффициент безопасности.

УДК 550.8+552.5(477)+553.04

А. Баран, канд. геол. наук, геолог I кат.
E-mail: baranandr9@gmail.com
ЦРГД ДП "Українська геологічна компанія"
пров. Геофізиків, 10, м. Київ, 02088, Україна

ЗАКОНОМІРНОСТІ ЗВ'ЯЗКІВ МІЖ ПОТУЖНОСТЯМИ І ПОШИРЕНOSTЯМИ ТЕРИГЕННИХ ВІДКЛАДІВ НА ПРИКЛАДІ ОСАДОВОГО ЧОХЛА ПІВНОЧІ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА

(Представлено членом редакційної колегії д-ом геол. наук, проф. В. А. Нестеровським)

Присвячено виявленню закономірностей, характерних для шарів осадової товщі, яка перекидає кристалічний фундамент на півночі Українського щита, а на їхній основі й нових методів, які могли б застосовуватись у процесі регіональних досліджень, а також пошуку і розвідці родовищ осадових корисних копалин. Зокрема, досліджено статистичні залежності між середніми потужностями і поширеністю теригенних відкладів на прикладі двох територій, розташованих на Новоградському блоці Волинського мегаблока і Фастівському блоці Росинсько-Тикицького мегаблока. Для цього застосовано метод парного кореляційного аналізу. Установлено різноманітні кореляційні залежності між цими показниками для всієї товщі, четвертинних і неогенових відкладів. Частина з них становить сильні та вельми сильні залежності. Виявлена така закономірність: у порівняно добре відсортованих чи невідсортованих відкладах, кореляційний зв'язок між потужностями і поширеністю завжди сильніший, ніж у всіх відкладів загалом, у тому випадку, коли вони становлять більшу частину об'єму осадової товщі, що досліджується. Таким чином, одним із головних чинників, які впливають на залежності між потужностями і поширеністю відкладів, є їхня відсортованість або невідсортованість. Інформація про наявність сильних кореляційних залежностей між потужностями і поширеністю відкладів усієї осадової товщі чи її частини може робити більш змістовними літологічні та літолого-фаціальні карти в разі відображення поширення цих відкладів на них. У такому разі за областю поширення породи можна щонайменше якісно оцінювати її середню потужність, а отже, і об'єм на відображенні на карті території. Виявлена залежність може використовуватись при підрахунках прогнозних ресурсів деяких осадових корисних копалин на окремих родовищах, полях, зонах, районах їхнього поширення. У першу чергу це стосується корисних копалин, які становлять окремі горизонти – це вторинні каоліни, керамзитові та бентонітові глини, буре вугілля тощо. У разі потреби з її допомогою можна підраховувати мінералізаційний потенціал по окремих топографічних аркушах, адміністративних і геоморфологічних районах тощо. Перспективним може бути дослідження кореляційних зв'язків між потужностями і поширеністю відкладів на інших мегаблоках Українського щита та в інших регіонах.

Ключові слова: відклади, потужність, поширеність, кореляція, ресурси, корисні копалини, щит.

Постановка проблеми і формулювання цілей статті. Традиційно вважається, що потужність і поширеність відкладів не можуть бути пов'язані між собою тісним кореляційним зв'язком. Головною підставою для такого погляду служать такі пов'язані між собою чинники:

- денудаційні процеси. В їхньому результаті може бути знесена і перенесена частина осадової товщі, у такому разі за наявності кількох шарів тієї чи іншої породи і при подальшому повному знесенні деяких з них чи їхніх частин може порушитися співвідношення середньої потужності та поширеності породи. Якщо залягання шарів похиле, то наслідком денудації може стати знесення частини пласта за простяганням, у такому разі відношення потужності до поширеності зростає;

- тектонічний режим. Однонаправлені висхідні чи низхідні тектонічні рухи, які потім змінюються протилежним напрямком руху. Такі коливання протягом геологічної історії, імовірно, були характерні для більшої частини земної поверхні;

- седиментаційний і гідродинамічний режими конкретної зони акумуляції;

- рельєф земної поверхні. Улоговини чи підняття як на денній поверхні, так і на дні водойм різною мірою сприятливі для накопичення тих чи інших відкладів. Різницями є площа, об'єм і конфігурація форм рельєфу;

- різне походження відкладів. Вони є результатом дії самих різноманітних екзогенних процесів. Різницями є характер, об'єм, середовище і швидкість перенесення відкладів;

- зміна кліматичних умов. Наслідком цього може стати зміна агента перенесення, інтенсивність і характер вивітрювання тощо.

Імовірно, саме ці погляди є головною причиною неувваги літологів до вивчення залежностей між середніми потужностями і поширеністю відкладів. На теперішній час автору невідомі приклади практичного з'ясування таких зв'язків на будь-яких територіях, і взагалі застосування кореляційного аналізу для вивчення осадового чохла Українського та інших кристалічних щитів.

Осадовий чохол є важливою складовою в розподілі проявів і родовищ корисних копалин на Українському

щиті (УЩ). До нього приурочені розсипи рудних мінералів, шари керамзитових і бентонітових глин, вапняків, будівельних пісків, суглинків і глин, вторинних каолінів тощо. Установлення і знання закономірностей, характерних для цієї товщі, може сприяти вибору напрямів подальших геологорозвідувальних робіт на даній території, їхньому плануванню і позитивно впливати на якість при їхньому здійсненні. Це стосується, зокрема, і північної частини УЩ. Тому дана стаття присвячена виявленню таких закономірностей, а на їхній основі й нових способів, які могли б застосовуватись при регіональних дослідженнях, а також пошуку і розвідці родовищ корисних копалин.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Потужності відкладів при дослідженнях седиментаційних процесів використовуються в геології протягом багатьох десятиліть, із самого початку формування літології як науки. Головним методом їхнього використання є палеотектонічний аналіз у геотектоніці, зокрема аналіз потужностей. Він використовується для вивчення історії тектонічних рухів, формування і подальших змін окремих структур земної кори, палеотектонічних і палеофаціальних реконструкцій. Дозволяє кількісно оцінювати вертикальні амплітуди від'ємних коливальних рухів. Метод виконується на основі складання карт ліній рівних потужностей, які часто зіставляються з картами фацій. Розроблений В. В. Белоусовим (Белоусов, 1940; 1954) широкий аналіз можливостей методу виконаний Яншиним і Горецьким (1965). Крім того, потужності осадових відкладів використовуються в аналізі фацій (літолого-фаціальному аналізі), об'ємному методі (Ронов, 1949) та інших методах. Серед останніх праць можна відмітити (Тюленева і Сучков, 2012), в якій розглянуто розподіл потужностей осадів голоцену відповідно до рельєфу дна шельфу Чорного моря.

Значення потужностей осадових порід і відкладів дуже часто використовуються у процесі статистичних досліджень осадових утворень. Хоч вони є однією із ключових характеристик останніх, математичні залежності потужностей від інших величин, зокрема від їхньої поши-

реності, досьгодні залишаються мало вивченими. Причиною цього, очевидно, є недостатнє поширення статистичних методів у літології й седиментології на відміну від геохімії, геофізики, гідрогеології. Автору не знайомі праці, в яких цілеспрямовано були б розглянуто такі залежності. Що стосується пошуку інших статистичних залежностей цієї величини, то їх намагався виявити ще *Вістелиус (1980)*. Зокрема, для виявлення зв'язку між потужностями двох чи трьох осадових шарів, розташованих один за одним, ним запропоновано використовувати коефіцієнт коваріації. В іншій праці *Вістелиус (1961)* замість колонки, що зображує розріз відкладів, аналізувалась крива, що відображає зміни арифметизованого складу порід по розрізу, і послідовність зміни потужностей шарів визначеного літологічного складу, що становлять розріз. Використання кореляційного і спектрального аналізу дозволило ідентифікувати серію німих розрізів і показати, що механізми шаронакопичення на різних ділянках можуть збігатися або відрізнятися за характером свого функціонування.

Що стосується північної частини УЩ, то парні коефіцієнти кореляції між потужностями відкладів усього осадового чохла і залежності їхніх потужностей з іншими величинами, такими як абсолютні відмітки денної поверхні, кристалічного фундаменту, потужність осадового чохла, розглянуто у праці (*Баран, 2016*).

Матеріали і методи. Північна частина УЩ досліджена на прикладі двох територій. Одна з них охоплює частину Новоград-Волинської морфоструктури в межах 6 аркушів масштабу 1 : 50 000 (М-35-43-Б, Г; 44-А, Б, В, Г), які в центрі та північно-західній частині Новоградського блока Волинського мегаблока, друга – усю Північно-Роську морфоструктуру в межах Фастівського блока Росинсько-Тікицького мегаблока УЩ (рис. 1). Перша територія дослідження займає площу близько 1758 км², друга – близько 1935 км². На УЩ відсутні території з настільки великою площею, на яких були б визначені гранулометричні склади всіх осадових шарів у всіх свердловинах лабораторним методом. Тому для перевірки методики, запропонованої в даній праці, визначення гранулометричного складу базується лише на описах колонкових свердловин, тобто є напівкількісним. Свердловини були пробурені попередниками ДП "Українська геологічна компанія" у процесі геологознімальних робіт масштабів 1 : 200 000 (*Бухарев та ін., 1960; Жовинський та ін., 1961*), 1 : 50 000 (*Лабунний та ін., 1988; Глухов та ін., 1989; Бондаренко та ін., 1979; Безверхній та ін., 1966; Кулик та ін., 1998; Мельничук та ін., 1962*), геологічного довивчення площі масштабу 1 : 200 000 (*Мазур та ін., 2010*), 1 : 50 000 (*Кулик та ін., 1996*), а також пошукових робіт (*Гейко та ін., 2011*). Геологознімальні свердловини порівняно із свердловинами будь-яких інших видів робіт найбільш рівномірно розподілені по площі, тому переважно саме вони включені до статистичної вибірки. З вибірок виключалися свердловини, розташовані в значній близькості до меж зазначених вище морфоструктур. Загальна кількість проаналізованих колонкових свердловин: Новоградський блок – 649, Фастівський блок – 655.

Для встановлення існуючих у геологічній будові осадових чохла Новоградського і Фастівського блоків тенденцій і закономірностей в роботі досліджено зв'язки середніх потужностей різновидів відкладів усієї товщі, а також четвертинних і неогенових відкладів, з їхньою поширеністю. Для цього застосовано метод парної лінійної кореляції, який ще іноді називають звичайною кореляцією. Палеогенові відклади мають незначне поширення на цих територіях, тому в даній праці не розглядаються. Більш давні осадові породи відсутні. Для класифікації

уламкових порід у дослідженні застосована найбільш поширена у Східній Європі протягом другої половини XX ст. десяткова метрична система, згідно з якою межі різновидів відкладів є такими: глини < 0,01 мм, алеврити 0,01–0,1 мм, дрібнозернисті піски 0,1–0,25 мм, середньозернисті піски 0,25–0,5 мм, крупнозернисті піски 0,5–1,0 мм, грубозернисті піски 1,0–2,0 мм, гравій 2,0–10,0 мм, галька 10–100 мм, валуни > 100 мм. Супіски в даній роботі відповідають піскам глинистим алевритистим, суглинки – алевритам піщаним глинистим, піски тонкозернисті – алевритам крупнозернистим (0,05–0,1 мм). До відносно добре відсортованих відкладів належали ті, що більше ніж на 90 % складені однією чи двома фракціями.

Геологічна будова та геоморфологія території.

Ділянки для дослідження обирались відповідно до геологічних будов Волинського і Росинсько-Тікицького мегаблоків та їхнього геоморфологічного районування. При цьому за основу взята тектонічна карта (*Круглов та Гурський, 2007*). Згідно з нею Новоградський блок I порядку займає більшу частину Волинського мегаблока, простягаючись у північно-східному напрямку (рис. 1). На південний схід від нього розташований Тетерівський блок того ж порядку. Докембрійський фундамент блока складений ультраметаморфічними породами шереметівського і житомирського комплексів, серед яких зустрічаються останці метаморфічних порід тетерівської серії. Усі вони пронизані різного розміру магматичними тілами нарцизівського, букинського, городницького, осницького, кишинського і дайкового комплексів. Середня потужність осадового чохла, який майже повністю перекриває кристалічний фундамент, становить 9,7 м.

Фастівський блок I порядку займає північну частину Росинсько-Тікицького мегаблока. На південь від нього розташований Уманський блок того ж порядку (*Круглов та Гурський, 2007*). Докембрійський фундамент блока складений ультраметаморфічними породами літинського, тетіївського, звенигородського, бердичівського, уманського і житомирського комплексів, пронизаними тілами сабарівського і юрівського інтрузивних комплексів (*Зюльцле та ін., 2005*). Середня потужність осадового чохла, який перекриває кристалічний фундамент, становить 32,6 м.

Згідно з геоморфологічним районуванням обидві території дослідження розташовані в межах Придніпровсько-Приазовської пласово-денудаційної цокольної височини. Перша територія займає частину Новоград-Волинської воднольодовикової зденудованої, хвилястої, слабзорозчленованої рівнини, яка є її складовою. Ця рівнина відповідає Новоград-Волинській морфоструктурі III порядку. Друга територія займає всю Північнороську лесову акумулятивно-денудаційну розчленовану рівнину в межах Фастівського блока I порядку і відповідає Північнороській морфоструктурі III порядку.

На Новоград-Волинській морфоструктурі домінують абсолютні висоти від 198 до 212 м, максимальна становить 233 м, найбільш низька відмітка – 172,7 м у заплаві р. Случ. Рельєф морфоструктури значною мірою збігається з рельєфом поверхні кристалічного фундаменту. На ній присутня відносно велика кількість виходів кристалічних порід на денну поверхню, що відслонюються у долинах річок, міжріччях, утворюючи денудаційні форми рельєфу. Решта території перекрита осадовими відкладами. Загальну монотонність рівнини порушують дрібні пониження, до яких приурочені заболочені ділянки, порівняно густа (0,6–0,8 км/км²) гідрогеологічна мережа, а також піщані грядово-горбисті утворення.

На Північнороській морфоструктурі амплітуда коливань висотних відміток вододілів становить 72 м, від

205,0 до 277,0 м. Слабогорбиста поверхня рівнини успадковує нахил поверхні кристалічного фундаменту і нахилена на схід – північний схід. Поверхня вододілів переважно рівна, різною мірою розчленована долинами річок. Особливістю території є розвиток гідрографічної

мережі переважно паралельного типу, де глибина врізу річок досягає 30–40 м, а також наявність чітко виражених улоговиноподібних понижень на вододільних ділянках (Зюльцле та ін., 2005).

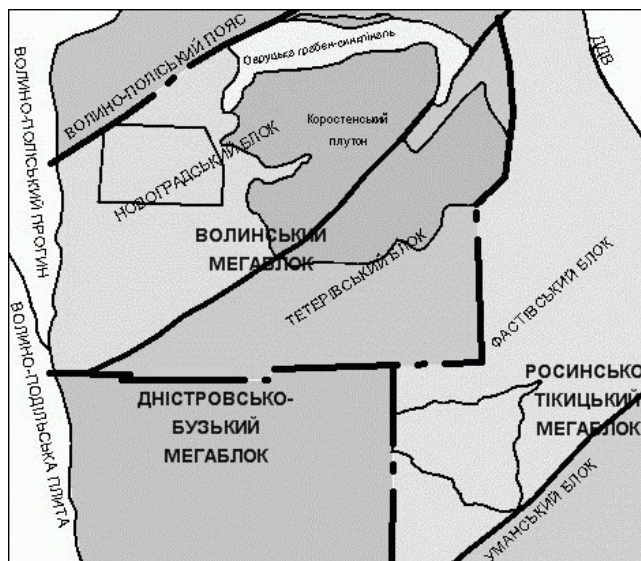


Рис. 1. Оглядова схема північної частини Українського щита (Круглов та Гурський, 2007) згідно з контурами територій дослідження

Осадові чохла обох територій складені відкладами четвертинної, неогенової та палеогенової систем. Четвертинні відклади мають майже повсюдне поширення на першій території й повсюдне на другій. Вони залягають на різних гіпсометричних рівнях, відсутні лише на деяких ділянках річок, а також найбільш еродованих вододілах. Неогенові відклади менш поширені, вони зі стратиграфічною і кутовою незгідностями залягають на породах кристалічного фундаменту, іноді палеогенових відкладах, перекриваються четвертинними відкладами і тільки в одиничних випадках виходять на денну поверхню на Новоградському блоці. Палеогенові відклади поширені локально, зі стратиграфічною і кутовою незгідностями залягають на породах кристалічного фундаменту та їхніх корах вивірювання, як правило, заповнюючи западини в них.

Основний матеріал. Усі перераховані вище чинники, що негативним чином впливають на залежності між потужностями і поширеностями відкладів, протягом геологічної історії діяли і на півночі УЩ, зокрема і на виділених для дослідження ділянках. Від палеогену до голоцену, як вважається, на цій території змінювався клімат, зазнавали коливань вертикальні тектонічні рухи, відбувалися денудаційні процеси, а отже, змінювався і рельєф тощо. Слід відмітити, що УЩ, імовірно, є найбільш сприятливою структурою цього типу для планомірного і системного вивчення тенденцій і закономірностей осадового чохла кореляційним методом. Це обумовлено передусім такими чинниками, як невисока відслоненість і, як результат, покриття більш рівномірною мережею буріння, оскільки УЩ є порівняно значно доступнішим для бурової техніки, а також доступність необхідної інформації, оскільки більшість регіональних та інших робіт здійснювались за державними проектами.

У табл. 1 представлено ранжовані ряди осадових порід за поширеністю на Новоградському блоці, які зустрічаються більш ніж у 10 свердловинах, та їхні середні

потужності. Крім зазначених у таблиці порід, на цій території присутні ґрунтово-рослинні шари і техногенні відклади – з відомих причин їх не включено до списків. Коефіцієнт парної кореляції за потужностями і поширеностями для всього осадового чохла становить 0,73. Найбільш помітні відхилення від ранжованого ряду мають середні потужності найгірше відсортованих відкладів – суглинків (2,93 м), супісків (3,00 м), пісковиків (1,77 м), перевідкладених кір вивірювання (2,57 м) (рис. 2). Пісковики включені до цієї категорії тому, що до них віднесені різновиди з різною зернистістю – дрібнозернисті, тонко-дрібнозернисті та ін. Коефіцієнт кореляції окремо за групою псамітів і псефітів дещо вищий – 0,80. Ще трохи вищим він є за відносно добре відсортованими відкладами, до яких можна віднести глини, алевроїти, піски тонко-, тонко-дрібно-, дрібно-, дрібно-середньо-, середньо-, середньо-крупно-, крупнозернисті, торф і валунно-галькові горизонти, і становить 0,83 (рис. 3). Середні потужності тонкозернистих відкладів, до яких можна віднести глини, алевроїти і тонкозернисті піски, мають практично функціональний зв'язок з їхньою поширеністю – коефіцієнт парної кореляції становить 1,00 (рис. 2).

Характерним для відкладів Новоградського блока є те, що коефіцієнт парної кореляції окремо по четвертинних і неогенових породах менший, ніж по всьому осадовому чохла і становить, відповідно, 0,60 і 0,40 (табл. 1). Серед четвертинних осадків кореляція між тонкозернистими відкладами відсутня, але по псамітах вища, ніж для всіх відкладів – 0,66 і ще вища по відносно добре відсортованих осадках – 0,71 (рис. 4).

Серед неогенових відкладів блока парна кореляція по відносно добре відсортованих породах незначно перевищує кореляцію для всіх відкладів і залишається слабкою – 0,42. Кореляція по групі псамітів сильна – 0,89 (рис. 4). Кореляція по тонкозернистих відкладах не підлягає перевірці, оскільки кількість проявів тонкозернистих пісків неогену не досягає навіть 10.

Таблиця 1

Кореляція середньої потужності й поширеності відкладів на Новоградському блоці

Назви відкладів	Усі відклади					Назви відкладів	Четвертинні відклади					Назви відкладів	Неогенові відклади			
	Кількість свердловин з відкладом	Середня потужність					Кількість свердловин з відкладом	Середня потужність					Кількість свердловин з відкладом	Середня потужність		
		усіх відкладів	пелітів, алевроїтів	відсортованих псамітів	Відсортованих відкладів			усіх відкладів	пелітів, алевроїтів	відсортованих псамітів	відсортованих відкладів			усіх відкладів	відсортованих псамітів	відсортованих відкладів
Піски д/з	327	5,05		5,05	5,05	Піски д/з	303	4,34		4,34	4,34	Глини	116	4,36		4,36
Піски д-с/з	204	4,99		4,99	4,99	Піски д-с/з	178	4,75		4,75	4,75	Піски д/з	52	5,81	5,81	5,81
Суглинки	179	2,93				Суглинки	158	2,50				Алеврити	37	3,65		3,65
Супіски	178	3,00				Супіски	157	2,84				Суглинки	34	3,76		
Глини	138	4,21	4,21		4,21	Піски с/з	90	5,28		5,28	5,28	Піски р/з	33	4,69		
Піски с/з	111	5,14		5,14	5,14	Піски р/з	65	4,23				Піски д-с/з	31	5,05	5,05	5,05
Піски р/з	97	4,58				Піски т-д/з	48	2,55		2,55	2,55	Супіски	30	2,63		
Піски т-д/з	66	2,78		2,78	2,78	Алеврити	28	1,88	1,88		1,88	Піски с/з	24	3,71	3,71	3,71
Алеврити	63	3,14	3,14		3,14	Глини	24	2,66	2,66		2,66	Піски т-д/з	16	2,08	2,08	2,08
Піски с-к/з	33	2,96		2,96	2,96	Піски с-к/з	16	2,54		2,54	2,54	Піски с-к/з	15	3,40	3,40	3,40
Пісковики р/з	18	1,77				Піски т/з	13	1,98	1,98		1,98					
Піски т/з	17	2,47	2,47		2,47	Торф	11	0,50			0,50					
Піски к/з	16	2,33		2,33	2,33	Вал.-гал.г.	10	1,35		1,35	1,35					
Торф	14	1,54			1,54											
Вал.-гал.г.	14	1,15		1,15	1,15											
Перев.к.в.	11	2,57														
г		0,73	1,00	0,80	0,83			0,60	0,14	0,66	0,71			0,40	0,89	0,42

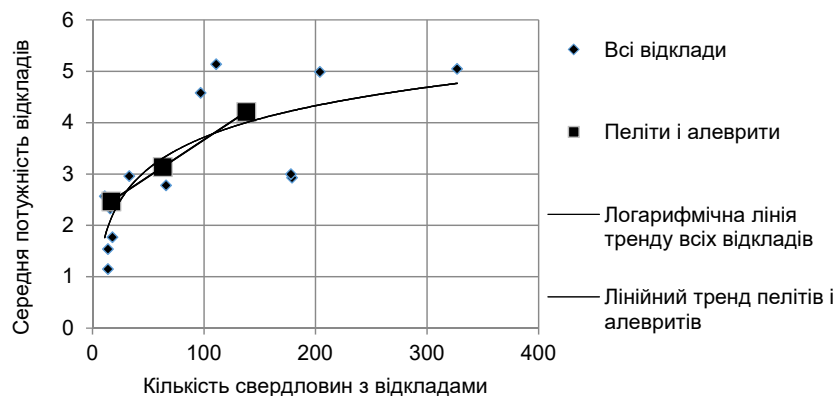


Рис. 2. Розподіл усіх відкладів Новоградського блока

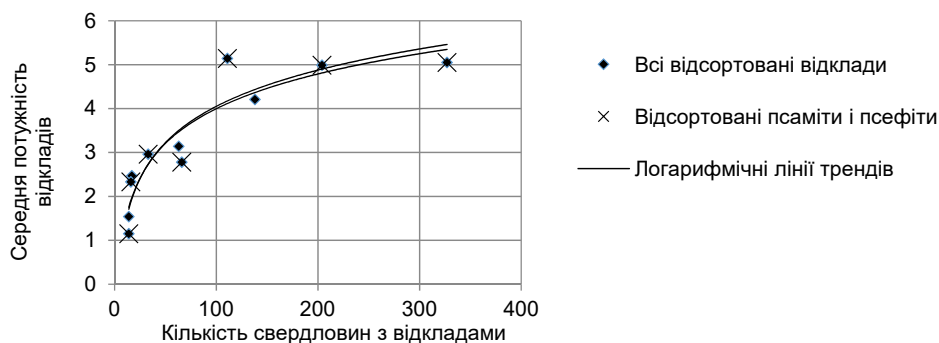


Рис. 3. Розподіл усіх відсортованих відкладів Новоградського блока

Таким чином, для всієї товщі, четвертинних і неогенових відкладів Новоградського блока проглядається така закономірність: *парна кореляція для середніх потужностей відносно добре відсортованих псамітів і всіх відсортованих відкладів з їхньою поширеністю завжди вища, ніж для всіх різновидів відкладів*. Це може бути обумовлено тим, що відкладення цих утворень відбувалось у подібному гідродинамічному режимі, хоча і у різний час, тоді як для невідсортованих порід характерні більш різноманітні умови відкладення.

У табл. 2 представлено ранжований ряд відкладів за поширеністю на Фастівському блоці, які зустрічаються більше ніж у 10 свердловинах, та їхні середні потужності. Не показано ґрунтово-рослинний шар і техногенні відклади. Коефіцієнт парної кореляції за двома цими показниками для відкладів усієї товщі становить 0,76. Найбільш помітні відхилення від ранжованого ряду мають середні потужності органічних і найгірше відсортованих утворень – супісків (3,79 м), викопних ґрунтів (2,44 м), пісковиків

(1,09 м), перевідкладених кір вивітрювання (5,30 м), а також деяких відсортованих – торфу (1,51 м), алевритів (5,75 м) і валунно-галькових горизонтів (0,30 м) (рис. 5). Коefіцієнт кореляції окремо по групі псамітів і псефітів нижчий – 0,60. Незначно вищим він є по відносно добре відсортованих породах, до яких можна віднести глини, алеврити, піски тонко-, тонко-дрібно-, дрібно-, дрібно-

середньо-, середньо-, середньо-крупно-, крупнозернисті, валунно-галькові горизонти, торф та буре вугілля і становить 0,80. Середні потужності тонкозернистих відкладів, до яких можна віднести глини, алеврити і тонкозернисті піски, як і на Новоградському блоці, мають вельми сильний зв'язок з їхньою поширеністю – коefіцієнт парної кореляції – 0,95.

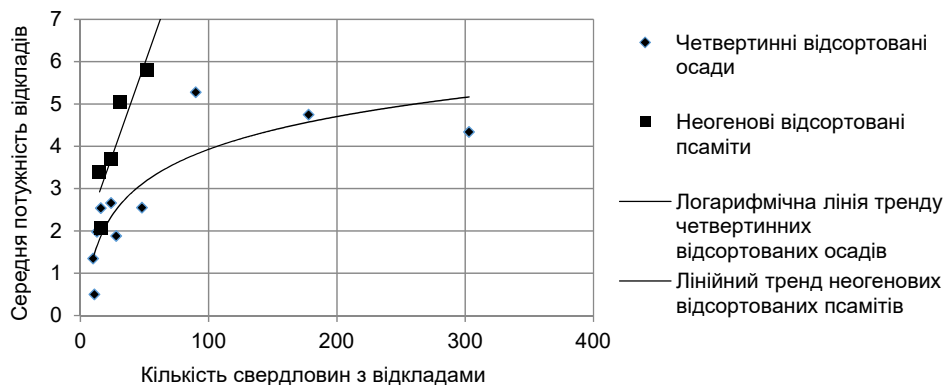


Рис. 4. Розподіл усіх четвертинних відсортованих відкладів і неогенових відсортованих псамітів Новоградського блоку

Таблиця 2

Кореляція середньої потужності і поширеності відкладів на Фастівському блоці

Назви відкладів	Усі відклади					Назви відкладів	Четвертинні відклади					Назви відкладів	Неогенові відклади			
	Кількість свердловин з відкладом	Середня потужність					Кількість свердловин з відкладом	Середня потужність					Кількість свердловин з відкладом	Середня потужність		
		всіх відкладів	пелітів, алевритів	відсортованих псамітів	відсортованих відкладів			всіх відкладів	пелітів, алевритів	відсортованих псамітів	відсортованих відкладів			всіх відкладів	відсортованих псамітів	відсортованих відкладів
Суглинки	616	12,47				Суглинки	615	12,33				Глини	398	10,70		10,70
Глини	421	10,59	10,59		10,59	Супіски	311	3,62				Піски д/з	210	6,09	6,09	6,09
Піски д/з	351	5,88		5,88	5,88	Вик.грунт	237	2,44				Піски т-д/з	148	6,44	6,44	6,44
Супіски	351	3,79				Піски д/з	201	3,68		3,68	3,68	Піски т/з	119	6,53		6,53
Вик.грунти	237	2,44				Піски р/з	71	3,53				Супіски	78	2,59		
Піски т-д/з	191	6,35		6,35	6,35	Піски с/з	66	2,85		2,85	2,85	Піски р/з	42	2,22		
Піски т/з	162	5,75	5,75		5,75	Піски д-с/з	63	3,24		3,24	3,24	Пісковики	37	1,11		
Піски р/з	117	3,13				Глини	55	2,53	2,53		2,53	Піски д-с/з	33	4,25	4,25	4,25
Піски д-с/з	99	3,70		3,70	3,70	Піски т-д/з	50	4,70		4,70	4,70	Вт.каолін	25	3,93		3,93
Піски с/з	87	3,02		3,02	3,02	Піски т/з	40	2,78	2,78		2,78	Піски с/з	21	3,08	3,08	3,08
Пісковики	43	1,09				Алеврити	34	6,15	6,15		6,15	Перев.к.в.	12	5,66		
Піски к-г/з	42	4,82		4,82	4,82	Піски к-г/з	30	3,89		3,89	3,89					
Алеврити	38	5,75	5,75		5,75	Вал.-гал.г.	20	0,42		0,42	0,42					
Піски г/з	38	4,23		4,23	4,23	Торф	18	1,51			1,51					
Вт.каоліни	36	3,31		3,31	3,31	Піски к/з	16	3,43		3,43	3,43					
Піски к/з	26	3,00		3,00	3,00	Піски с-к/з	11	4,40		4,40	4,40					
Гравій	23	3,99		3,99	3,99											
Піски с-к/з	21	4,32		4,32	4,32											
Вал.-гал.г.	21	0,30		0,30	0,30											
Торф	18	1,51			1,51											
Перев.к.в.	16	5,30														
Буре вуг.	14	2,58			2,58											
г		0,76	0,95	0,60	0,80			0,73	-0,76	0,13	0,11			0,83	0,90	0,96

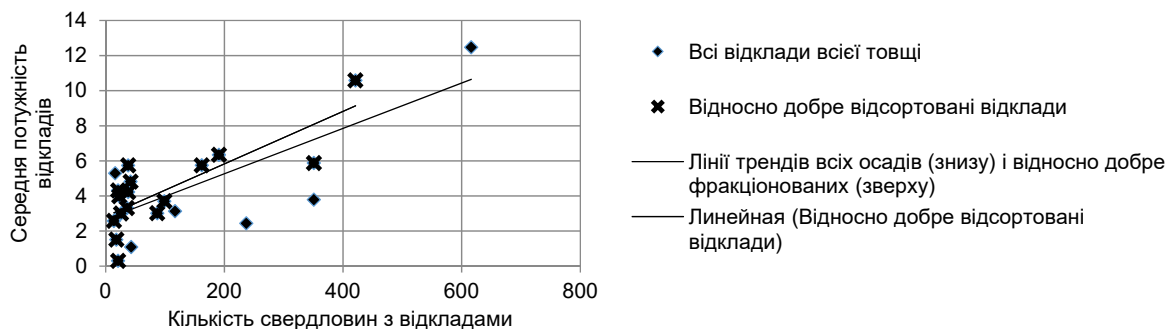


Рис. 5. Розподіл відкладів всієї товщі та відносно добре відсортованих відкладів Фастівського блоку

Коефіцієнт парної кореляції окремо по всіх четвертинних і неогенових відкладах незначно відрізняється від подібного для всієї осадової товщі й становить, відповідно, 0,73 і 0,83 (табл. 2). Але слід зауважити, що для четвертинних відкладів кореляція практично відсутня, оскільки досить високий показник кореляції (0,73) досягається виключно за рахунок суглинків. Без них кореляція між потужностями і поширеностями четвертинних відкладів відсутня – 0,02. Серед четвертинних осадків кореляція між найбільш відсортованими осадами, а також псамітами, теж відсутня – відповідно 0,11 і 0,13. Між тонкозернистими відкладами кореляція сильна, але від'ємна (–0,76), тобто з набуттям більшої поширеності ці відклади мають усе меншу середню потужність.

Слід відмітити, що кореляція між потужностями і поширеностями невідсортованих четвертинних осадків Фастівського блока, до яких віднесені суглинки, супіски, виковні ґрунти і різнозерністі піски, є сильною і становить 0,88. Це єдиний випадок такої сильної кореляції у невідсортованих осадків, коли вони утворюють досить закономірний ряд зростання потужностей разом із поширеністю (рис. 6).

Серед усіх неогенових відкладів Фастівського блока найбільші відхилення від лінійного тренду мають найгірше відсортовані утворення – пісковики (1,11 м), перевідкладені кори вивітрювання (5,66 м), супіски (2,59 м), суглинки (2,03 м), різнозерністі піски (2,22 м) (рис. 6).

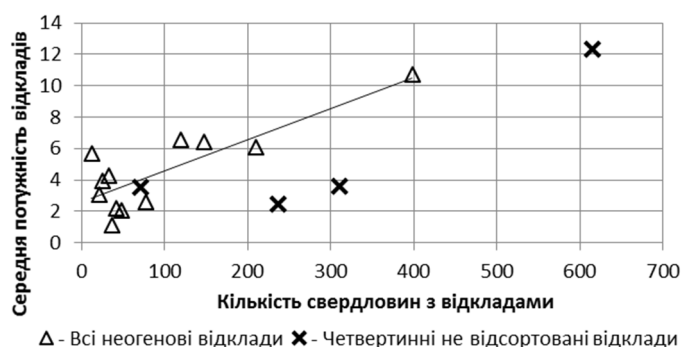


Рис. 6. Розподіл четвертинних невідсортованих і всіх неогенових відкладів Фастівського блока

Серед цих же неогенових відкладів парна кореляція по відносно добре відсортованих породах перевищує кореляцію для всіх відкладів, є вельми сильною і становить 0,96 (рис. 7). Дуже сильною є також кореляція по групі псамітів – 0,90. Кореляція по тонкозернистих відкладах не підлягає перевірці, оскільки кількість проявів алевритів неогену не досягає навіть 10.

Таким чином, як на Новоградському, так і на Фастівському блоках присутні різні кореляційні зв'язки між середніми потужностями і поширеністю відкладів – від відсутніх до функціональних, що досягають 1. Для всієї товщі, четвертинних і неогенових відкладів обох блоків простежується така закономірність: *парна кореляція середніх потужностей відкладів з їхньою поширеністю у відносно добре відсортованих відкладах вища, ніж для всіх відкладів*. Отже, на обох блоках кореляційний зв'язок

досліджуваних величин різною мірою зростає для відносно добре відсортованих відкладів порівняно з усіма. Але це характерно тільки в тих випадках, коли відносний вміст відсортованих відкладів є більшим порівняно з невідсортованими (табл. 3). У цій таблиці відображено об'єми відносно добре відсортованих і невідсортованих четвертинних, неогенових і повних осадових товщ обох територій дослідження. До підрахунку не увійшли ґрунтово-рослинний і техногенний шари, а також інтервали без зерна. До відносно добре відсортованих відкладів віднесені глини, алеврити, усі різновиди пісків, крім різнозернистих і нефракціонованих при описі, торфи, буре вугілля, а також грубозерністі піски та валунно-галькові відклади. До невідсортованих увійшли мули, суглинки, супіски, піски, вуглисті піски, різнозерністі піски, пісковики і перевідкладені кори вивітрювання, а на Фастівському блоці ще й виковні ґрунти й опоки.

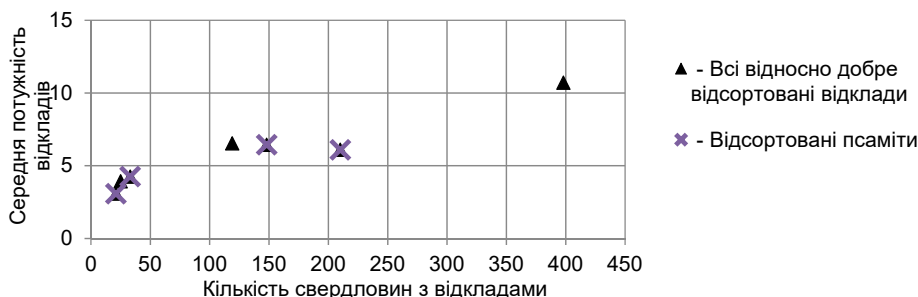


Рис. 7. Розподіл всіх відносно добре відсортованих відкладів і відсортованих псамітів неогену Фастівського блока

Таблиця 3

Відносний вміст відносно добре відсортованих і невідсортованих відкладів

Підраховані та невідсортовані відклади	Новоградський блок			Фастівський блок		
	Четвертинні відклади	Неогенові відклади	Усі відклади	Четвертинні відклади	Неогенові відклади	Усі відклади
Утворення, що не увійшли до підрахунку, %	4,39	0,00	3,04	7,62	0,00	4,51
Відносно добре відсортовані відклади, %	69,13	77,02	71,32	17,09	93,44	48,14
Невідсортовані відклади, %	26,48	22,98	25,64	75,29	6,56	47,35

У четвертинних відкладів Фастівського блока, як зазначалося вище, середні потужності практично не пов'язані з їхньою поширеністю – це характерно для всіх цих осадків і псамітів, а у тонкозернистих відкладах кореляція навіть від'ємна. Натомість ці четвертинні відклади є єдиним випадком сильної кореляції (0,88) між невідсортованими осадками і значно більшого їхнього об'єму порівняно з відсортованими (табл. 3). Вони становлять $\frac{3}{4}$ усього об'єму – 75,29 %, на відміну від четвертинних відкладів Новоградського блока і неогенових відкладів обох блоків, вміст у яких невідсортованих осадків коливається в інтервалі 6,56–26,48 %. Це пояснює відсутність додатного кореляційного зв'язку між середніми потужностями і поширеністю відсортованих осадків у четвертинних відкладах Фастівського блока.

Отже, як на Новоградському, так і на Фастівському блоці найважливішим природним чинником, який впливає на кореляційну залежність між потужностями і поширеністю відкладів, є їхня відсортованість: *порівняно добре відсортовані чи невідсортовані відклади завжди мають сильніший кореляційний зв'язок, ніж усі разом відклади, у тому випадку, коли вони становлять більшість об'єму всієї товщі чи її частини*. Під частиною маються на увазі четвертинні чи неогенові відклади. Причиною цього може бути різне середовище перенесення і відкладення осадків. Практично всі відносно добре відсортовані відклади утворились у результаті досить інтенсивних гідродинамічних процесів. Середовищем їхнього утворення була переважно вода і цей чинник їх об'єднує. Водночас значна частина невідсортованих осадків має еолове походження.

Практичне значення виявленої закономірності. Інформація про наявність сильних (0,7–0,9) і вельми сильних (0,9–1,0) кореляційних залежностей між середніми потужностями і поширеністю відкладів може мати практичне застосування.

Невід'ємною частиною багатьох регіональних і спеціалізованих геологічних робіт є побудова літологічних або літолого-фаціальних карт. Як відомо, ця графіка відображає поширення тих чи інших порід, осадків, серій, світ тощо. Як правило, ці карти мають оглядовий характер і не показують кількості чи об'єму корисних копалин. Такі характеристики передають карти корисних копалин, побудовані окремо або суміщені з геологічними картами. Для позначення кількісних і якісних характеристик корисних копалин на таких картах використовуються окремі знаки для точок мінералізації, геохімічних аномалій, проявів і родовищ. При цьому кількісні характеристики можуть нести знаки геохімічних аномалій і точок мінералізації. Значки родовищ передають тільки їхню крупність, тобто мають якісний характер. Інформація про виявлені кореляційні залежності між поширеністю і середніми потужностями осадових порід може робити більш інформативними і змістовними літологічні та літолого-фаціальні карти. Наприклад, як відомо, вторинні каоліни є керамічною сировиною і мають ряд інших застосувань у галузях промисловості. При геологознімальних роботах на Фастівському блоці в межах Північно-Роської морфоструктури в неогенових відкладах було виявлено 25 проявів вторинних каолінів, їхня середня потужність становить 3,93 м (табл. 2). Якщо раніше обриси цих порід на літологічних картах характеризували тільки їхнє поширення, то тепер, за наявності інформації, що середні потужності відносно добре відсортованих відкладів неогену цієї території мають вельми сильну залежність з їхньою поширеністю (0,96), за поширеністю вторинних каолінів на картах можна щонайменше наближено оцінювати їхню середню потужність, а отже, і об'єм, за

умови, що на карті присутні обриси поширення всіх неогенових відкладів та деяких інших різновидів. Крім того, за наявності таких чи дещо менших залежностей (напр., 0,7–1,0) на карті чи в умовних позначеннях можуть наноситись додаткові позначення, які інформуватимуть про такі залежності.

Якщо сильна кореляційна залежність між потужностями і поширеністю відкладів дозволяє судити про їхні об'єми, отже, вона може служити і допоміжним засобом при оцінюванні ресурсів пластових осадових корисних копалин. Починаючи з 2007 р., Україна перейшла до міжнародної рамкової класифікації ООН родовищ корисних копалин (*Рудько та ін., 2012, с. 34*). Відповідно до чинного документа виділяються такі групи запасів і ресурсів корисних копалин за ступенем геологічного вивчення і достовірності: розвідані запаси, попередньо розвідані запаси, перспективні ресурси, прогнозні ресурси. Згідно з *Постановою (1997)* і новою класифікацією "прогнозні ресурси – це обсяги корисних копалин, що враховують потенційну можливість формування родовищ певних геолого-промислових типів, що ґрунтуються на позитивних стратиграфічних, літологічних, тектонічних, мінерагенічних, палеогеографічних та інших передумовах, установлених у межах перспективних площ, де промислові родовища ще не відкриті". На прикладі неогену Фастівського блока є очевидним, що ця територія має стратиграфічні (приуроченість до певного стратиграфічного горизонту), літологічні (достатня потужність) та інші передумови для формування родовищ вторинних каолінів. Виявлена закономірність дозволяє оцінити об'єм, а отже, і ресурси вторинних каолінів на дослідженій території. Ця закономірність може бути перевірена на будь-якій території: топографічному аркуші, мінерагенічному районі, полі чи зоні, будь-де, де є мережа пробурених свердловин і встановлено речовинний склад корисної копалини.

Осадова корисна копалина може не формувати окремого фракційного (речовинного) шару, а бути тільки його частиною. Наприклад, на Новоградському блоці частину дослідженого шару глин становлять керамзитові глини. Не всі види глин придатні для виробництва керамзиту. У такому разі коефіцієнт кореляції між потужностями і поширеністю відкладів може встановлюватися по шару керамзитових глин, решті глин або їхніх різновидах та інших відкладах. Так само, як і в разі із вторинними каолінами, при сильних і вельми сильних кореляційних зв'язках можна оцінювати і прогнозні ресурси керамзитових глин для будь-яких територій, якщо їхні значення не мають значних відхилень від загального тренду.

На теперішній час у геологічній практиці не прийнято підраховувати прогнозні ресурси для топографічних аркушів, геоморфологічних районів, адміністративних територій тощо. Причиною цього може бути не стільки відсутність доцільності, скільки відсутність достатньо надійних і точних методів підрахунку. Хоч такі підрахунки можуть бути важливими, оскільки регіональні та пошукові роботи часто окреслюються саме топографічними рамками, пластові корисні копалини можуть бути більшою чи меншою мірою приурочені до певних геоморфологічних районів тощо. Для визначення ресурсів шляхом запропонованого автором у цій праці методу на вказаних вище територіях може використовуватись такий, представлений у роботі (*Бергер і др., 1989*) термін, як *мінерагенічний потенціал*. Авторами цієї праці він використовується як синонім ресурсів для їхньої оцінки за результатами дрібномасштабних геолого-геофізичних робіт масштабу 1 : 500 000 і дрібніше за самими загальними особливостями будови і складу, недостатніми для оцінок прогнозних ресурсів за категорією Р₃. Таким

чином, мінералогічний (металогенічний) потенціал в їхньому розумінні включає в себе можливу кількість корисної копалини в сучасних і перспективних кондиціях, що міститься у надрах установлених запасів і прогнозних ресурсів. На наш погляд, цей термін можна використовувати і при оцінюванні запропонованим у статті методом, об'ємів пластових осадових корисних копалин для топографічних аркушів, адміністративних територій тощо.

У результаті дослідження можна зробити такі **висновки**:

1. На півночі УЩ за силою зв'язків присутні різноманітні кореляційні залежності між середніми потужностями і поширеністю різновікових теригенних відкладів, що перекривають кристалічний фундамент. Частина з них становить сильні та дуже сильні залежності. Вони характерні тільки для даного конкретно взятого осадового басейну.

2. Для всіх проаналізованих відкладів Новоградського блоку Волинського мегаблоку і Фастівського блоку Росинсько-Тикицького мегаблоку характерна така закономірність: у порівняно добре відсортованих чи невідсортованих відкладів кореляційний зв'язок між потужностями і поширеністю завжди сильніший, ніж у всіх разом відкладів, у тому випадку, коли вони становлять більшу частину об'єму осадової товщі чи її частини. У такому разі менша за ступенем відсортованості група осадків знижує такі зв'язки, тобто переважно саме ці осадки і породи мають найчастіші та найбільші відхилення від загального тренду.

3. Кореляційні залежності між потужностями і поширеністю відкладів всієї осадової товщі чи її частини можуть робити більш змістовними літологічні та літолого-фаціальні карти в разі відображення поширення цих відкладів на них. У такому випадку за областю поширення відкладу можна щонайменше якісно оцінювати його середню потужність, а отже, і об'єм на відображенні на карті території.

4. Виявлені закономірності можуть служити допоміжним способом при оцінці прогнозних ресурсів деяких осадових корисних копалин, але їх бажано перевірити для осадових товщ інших територій з використанням даних гранулометричних аналізів. Запропонований спосіб може бути застосований для окремих родовищ, полів, зон, районів поширення осадової корисної копалини. У першу чергу це стосується корисних копалин, які становлять окремі горизонти – це вторинні каоліни, керамзитові глини, буре вугілля тощо. У разі потреби з його допомогою можна підраховувати мінералогічний потенціал по окремих топографічних аркушах, адміністративних і геоморфологічних районах тощо.

Перспективним може бути дослідження кореляційних залежностей між потужностями і поширеністю відкладів на інших тектонічних структурах УЩ або ж окремих осадових басейнах. Ця залежність може бути наявною для всіх чи одновікових відкладів на Волино-Подільській плиті, Дніпровсько-Донецькій западині та інших регіонах.

Список використаних джерел

Баран, А. (2016). Кореляційний аналіз осадових порід Новоградського блоку (Волинський мегаблок Українського щита). *Вісник Київського національного університету. Геологія*, 4 (75), 13-20.

Белоусов, В. В. (1940). Мощность отложений как выражение режима колебательных движений земной коры. *Советская геология*, 2-3, 34-46.

Белоусов, В. В. (1954). Основные вопросы геотектоники. Москва: Госгеолтехиздат.

Бергер, В. И., Богданов, Ю. В., Булкин, Г. А., Бурдз, А. И., Денисенко, В. К., Денисов, М. Н., Харченко, А. Г. (1989). Методическое руководство по оценке прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Ч. 1: Принципы и методы оценки. Москва: ВСЕГЕИ, Мингео СССР.

Вистелиус, А. Б. (1980). Основы математической геологии (определение предмета, изложение аппарата). Ленинград: Наука.

Вистелиус, А. Б. (1961). Материалы к литостратиграфии продуктивной толщи Азербайджана. Москва: Изд-во АН СССР.

Зюльцле, В. В., Дорковська, З. М., Виходцев, М. К., Бондаренко, В. В., Гребнева, Г. Г., Кулик, С. М., Нікіташ, Л. П. (2005). Державна геологічна карта України масштабу 1 : 200 000 аркуша М-35-XXIV (Сквира). Пояснювальна записка. Київ: Державний комітет природних ресурсів України, Державна геологічна служба, Північне державне регіональне геологічне підприємство "Північгеологія".

Круглов, С. С., Гурський, Д. С. (гол. ред.). (2007). Тектонічна карта України. Масштаб 1 : 1 000 000. Київ: Український державний геологорозвідувальний інститут, Державний комітет природних ресурсів.

Постанова Кабінету Міністрів України від 05.05.1997 №432 "Про затвердження Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр" (1997). *Офіційний вісник України*, 19.

Ронов, А. Б. (1949). История осадконакопления и колебательных движений Европейской части СССР: (по данным объемного метода). *Труды Геофизического ин-та АН СССР*, 3 (130), 1-390.

Рудько, Г., Миргородський, О., Курило, М., Лагода, О. (2012). Нормативно-правове регулювання надрокористування. Київ: Гіперіон.

Тюленева, Н.В., Сучков, И.А. (2012). Изменение мощностей донных отложений голоцена на северо-западном шельфе Черного моря. *Збірник наукових праць ін-ту геологічних наук НАН України*, 5, 41-47.

Яншин, А. Л., Гарецкий, Р. Г. (1960). Тектонический анализ мощностей // Методы изучения тектонических структур. Вып. 1. (с. 115-133). Москва: Изд-во АН СССР.

References

Baran, A. (2016). Correlation analysis of sedimentary rocks of Novograd block (Volynsky megablock of Ukrainian shield). *Visnyk of Taras Shevchenko National university of Kyiv. Geology*, 4(75), 13-19. [in Ukrainian]

Belousov, V.V. (1940). Moschnost otlozheniy kak vyrazhenie rezhima kolebatelnykh dvizheniy zemnoy kory. *Sovetskaya geologiya*, 2-3, 34-46. [in Russian]

Belousov, V. V. (1954). Osnovnye voprosy geotektoniki. Moskva: Gosgeoltekhizdat. [in Russian]

Berger, V. Y., Bogdanov, Yu. V., Bulkin, H. A., Burde, A. Y., Denisenko, V. K., Denisov, M. N., Kharchenkov, A. H. (1989). Metodicheskoe rukovodstvo po otsenke prognoznnykh resursov tverdykh poleznykh iskopaemykh. Chast 1: Printsipy i metody otsenki. Moskva: VSEGEI, Mingeo SSSR. [in Russian]

Kruglov S. S., Gurskyj D. S. (Eds.) (2007). Tektonichna karta Ukrainy. Masshtab 1:1 000 000. Kyiv: Ukrayinskyj derzhavnyjgeologorozviduválny instytut, Derzhavnyj komitet pryrodnykh resursiv. [in Ukrainian]

Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 05.05.1997 №432 "Pro zatverdzhennya klasyfikatsiyi zapasiv i resursiv korysnykh kopalyn derzhavnogo fondu nadr" (1997). *Ofitsiynyy visnyk Ukrainy*, 19. [in Ukrainian]

Ronov, A. B. (1949). Istoriya osadkonakopleniya i kolebatelnykh dvizheniy Evropeyskoy chasty SSSR: (po dannym obemnoy metoda). *Tруды Геофизического ин-та АН СССР*, 3 (130), 1-390. [in Russian]

Rudko, G., Myrhorodskyy, O., Kurylo M., Lagoda O. (2012). Normative legal regulation of subsurface management. Kyiv: Hiperion. [in Ukrainian]

Tyuleneva, N. V., Suchkov, Y. A. (2012). Izmenenie moschnostey donnykh otlozheniy holotsena na severo-zapadnom shelfe Chernogo morya. *Zbirnyk naukovykh prats in-tu geologichnykh nauk NAN Ukrainy*, 5, 41-47. [in Ukrainian]

Visteliyus A. B. (1980). Osnovy matematicheskoy geologii (opredelenie predmeta, izlozhenie apparata). Leningrad: Nauka. [in Russian]

Visteliyus, A. B. (1961). Materialy k litostatigrafii produktivnoy tolschi Azerbaydzhana. Moskva: Izdatelstvo AN SSSR. [in Russian]

Yanshin, A. L., Haretskyi, R. H. (1960). Tektonicheskiy analiz moschnostey. In: Metody izucheniya tektonicheskikh struktur. Vyp. 1. (p. 115-133). Moskva: Izd-vo AN SSSR. [in Russian]

Zultse, V. V., Dorkovska, Z. M., Vykhodtsev, M. K., Bondarenko, V. V., Grebneva, G. G., Kulik, S. M., Nikitash, L. P. (2005). Derzhavna geolohichna karta Ukrainy masshtabu 1:200 000 arkusha M-35-XXIV (Skvyra). Poyasnyuvalna zapyska. Kyiv: Derzhavnyy komitet pryrodnykh resursiv Ukrainy, Derzhavna geolohichna sluzhba, Pivnichne derzhavne regionalne geolohichne pidpryemstvo "Pivnichgeologiya". [in Ukrainian]

Надійшла до редколегії 17.11.18

A. Baran, Cand. Sci. (Geol.), Geologist I category
E-mail: baranandr9@gmail.com
SE "Ukrainian Geological Company", 10 Geophizykyiv Lane, Kyiv, 02088, Ukraine

PATTERNS OF TIES BETWEEN THICKNESS AND SPREADING OF TERRIGENOUS SEDIMENTS ON THE EXAMPLE OF UKRAINIAN SHIELD IN THE NORTH

This article focuses on identifying patterns typical for formations of sediment stratum that covers crystalline foundation in the north of Ukrainian shield, and on their basis finding new methods that could be used during regional research, and also while exploring and prospecting sediment minerals fields. In particular, there are researches of statistical relations between average thickness and spreading of terrigenous sediments using the example of two territories situated on Novograd block of Volyn mega block and Fastiv block of Rosynsk-Tikytsk mega block. For this purpose, method of double correlation analysis was used. It was found out that there are various correlation connections between these indexes for the whole stratum, Quaternary and Neogene deposits. Part of them has strong and very strong relative connections. The following pattern was identified: in relatively well sorted or not sorted sediments correlational connection between thickness and spreading is always stronger than in all the sediments together in the case when they form the bigger part of sediment stratum volume or the volume of its researched part. Thus, one of the main factors that influence the correlational connections between thickness and spreading of all the sediment stratum or its part is their sorted or unsorted state. The information about existence of strong correlation connections between thickness and spreading of sediments of all the sediment stratum or its part can make geological or sedimentological maps more substantial if they reflect spreading of these sediments. In this case according to the region of spreading of a sediment one can make at least qualitative evaluation of its average thickness, and thus its volume on the territory that is shown on the map. The identified pattern can be used while calculating projected resources of some minerals in some fields, zones, areas of their spreading. First of all, it concerns minerals that form separate horizons. They are secondary kaolin, expanded and bentonite clay, brown coal etc. With the help of this pattern one can calculate mineragenic potential in separate topographical sheets, administrative and geomorphological areas etc. The research of correlation connections between sediment thickness and spreading on the other mega blocks of Ukrainian shield and other regions may be perspective.

Keywords: sediments, thickness, spreading, correlation, resources, minerals, shield.

А. Баран, канд. геол. наук, геолог I кат.
E-mail: baranandr9@gmail.com
ЦРГИ ГП "Українська геологічна компанія", пер. Геофізиків, 10, г. Київ, 02088, Україна

ЗАКОНОМЕРНОСТИ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ МОЩНОСТЯМИ И РАСПРОСТРАНЕННОСТЬЮ ТЕРРИГЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА СЕВЕРА УКРАИНСКОГО ЩИТА

Посвящено обнаружению закономерностей, характерных для слоев осадочной толщи, которая перекрывает кристаллический фундамент на севере Украинского щита, а на их основе – и новых методов, которые могли бы использоваться при региональных исследованиях, а также поисках и разведке месторождений осадочных полезных ископаемых. В частности, рассмотрены статистические зависимости между средними мощностями и распространенностью терригенных отложений на примере двух территорий, расположенных на Новоградском блоке Волынского мегаблока и Фастовском блоке Росинско-Тикичского мегаблока. Для этого использован метод парного корреляционного анализа. Установлены разнообразные корреляционные зависимости между этими показателями для всей толщи, четвертичных и неогеновых отложений. Часть из них составляет сильные и весьма сильные зависимости. Выявлена следующая закономерность: у сравнительно хорошо отсортированных или неотсортированных отложений корреляционная связь между мощностями и распространенностью всегда сильнее, чем у всех вместе отложений, в том случае, когда они составляют большую часть объема осадочной толщи. Таким образом, одним из главных факторов, которые влияют на зависимости между мощностями и распространенностью отложений, является их отсортированность или неотсортированность. Информация о наличии сильных корреляционных зависимостей между мощностями и распространенностью отложений всей осадочной толщи или ее части может делать более информативными литологические и литолого-фациальные карты в случае отображения распространения этих осадков на них. В таком случае за областью распространения отложения можно качественно оценивать его среднюю мощность, а значит и объем на отображенной на карте территории. Обнаруженная зависимость может использоваться при подсчетах прогнозных ресурсов некоторых осадочных полезных ископаемых на отдельных месторождениях, полях, зонах, районах их распространения. В первую очередь это касается полезных ископаемых, которые составляют отдельные горизонты – это вторичные каолины, керамзитовые и бентонитовые глины, бурые угли и т.д. В случае необходимости с ее помощью можно подсчитывать минерогенический потенциал по отдельным топографическим листам, административным и геоморфологическим регионам. Перспективным может быть исследование корреляционных зависимостей между мощностями и распространенностью отложений на других мегаблоках Украинского щита и других регионах.

Ключевые слова: отложения, мощность, распространенность, корреляция, ресурсы, полезные ископаемые, щит.

УДК 56.569(119)

Л. Попова, канд. геол. наук, старш. наук. співроб.

E-mail: liliapopovalilia@gmail.com;

М. Крочак, канд. геол.-мінералог. наук, доц.

E-mail: mkrochak1960@gmail.com

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна;

О. Крохмаль, канд. геол. наук, старш. наук. співроб.

E-mail: krohmal1959@ukr.net

Є. Циж, асп., E-mail: evgeniya.czyzh@gmail.com

ІГН НАН України

вул. О. Гончара, 55,б, м. Київ, 01054, Україна

СЕРЕДНЬОПЛЕЙСТОЦЕНОВА МІКРОТЕРІОФАУНА ПЕЧЕРНОГО МІСЦЕЗНАХОДЖЕННЯ ВІНЯВИ (ЛЬВІВСЬКА ОБЛАСТЬ)

(Представлено членом редакційної колегії д-ом геол. наук, проф. В.В. Огарем)

Нове місцезнаходження плейстоценових дрібних ссавців Віняви (Львівська обл.) було виявлено в заповненні ніш і карнизів під уступом масивних добре зцементованих пісковиків опільської світи баденського регіонарусу середнього неогену. Місцезнаходження сформувалося у результаті акумуляції пелет хижих птахів і звірів, що оселялися в нішах і ходах у більш пухких підстиляючих пісковицях. У складі фауни присутні рештки комахоїдних, зайцеподібних і гризунів. Присутність *Arvicolachosaricus* і показники еволюційного рівня інших арвіколід дозволяють віднести фауну до хазарського фауністичного комплексу. Найближчий віковий аналог Віняви – підморенна фауна Матвійовки (Середнє Подніпров'я). В екологічному відношенні Віняви ближче всього до Меджибожу (сингільська фауна Побужжя). Геологічний вік місцезнаходження – середньоплейстоценовий (дніпровський кліматоліт, а, виходячи з екологічних особливостей фауни, скоріше за все – його початок). На основі мікротеріофауни для часу існування фауни Віняви реконструюються відкриті степові біотопи. Клімат був більш холодний, ніж сучасний, але не екстремальний, про що свідчить присутність комахоїдних, і достатньо зволожений, оскільки відсутні всі виразно ксерофільні елементи. Особливо промовиста відсутність такого фонового для плейстоценових місцезнаходжень України компонента, як лагуріди. Арктичний компонент представлений справжнім лемінгом. Висока частка водяної нориці в тафоценозі вказує на значну площу заплави і високу флювіальну активність, характерну скоріше для інтерстадіалів. В іншому разі відсутність сезонних паводків призвела б до розвитку в долинах байрачних лісів і появі лісових видів у складі фауни, чого не спостерігається. Рештки ховраха належать *Spermophilus odessanus*, що підтверджує недавнє (голоценове) вселення на дану територію її сучасного мешканця *S. citellus*.

Ключові слова: середній плейстоцен, мікротеріофауна, полівки, еволюційний рівень, палеоекологія.

Постановка проблеми. Для розробки вірогідних сценаріїв розвитку сучасного середовища одним із важливих джерел матеріалу є плейстоценова історія фауни. Зокрема, являють собою інтерес питання зміни ареалів видів (інтродукції нових видів в екосистеми) і вплив на розселення фауни зміни великих природних бар'єрів. Для вирішення подібних завдань важлива достатня кількість досліджених місцезнаходжень, достатнє географічне покриття територій і точне визначення геологічного віку фаун – терен, на якому в Україні вже багато зроблено (Рековец, 1994; Крохмаль і Рековец, 2010). Описана нижче плейстоценова фауна місцезнаходження Віняви є ще одним кроком у цьому напрямку.

Методи. Для оцінки геологічного віку фауни використовувалися загальноприйняті показники еволюційного рівня у полівок (Рековец, 1994; Maullet al., 1998). Усі вимірювання проводилися за стандартними методиками (Heinrich, 1990), за єдиним винятком коефіцієнта диференціації емалі, SDQ. У класичному і найбільш поширеному варіанті В.-Д. Хайнріха вимірюється тільки m1, але Т. Кольфшотен (Van Kolschoten, 1990) вважає, що сукупний SDQ для всіх молярів *Arvicola* не має достовірних відмін від SDQ, вирахованого за Хайнріхом і завдяки використанню не тільки m1, а всього наявного матеріалу, значно підвищується достовірність результатів, досягнутих на маленьких вибірках. У даній роботі використано обидві модифікації методу, з відповідними посиланнями. Вибір саме *Arvicola* та *Microtus gregalis* для оцінки еволюційного рівня фауни зумовлений тим, що ці види найбільш швидко еволюціонують. Крім того, вони ж і кількісно домінують у складі даної фауни.

При реконструкції палеобіогеографічних подій плейстоцену в першу чергу фіксують зміни ареалів бореальних і ксерофільних видів (Рековец, 1994). Крім цього традиційного підходу, інформативною виявилась також реконструкція динаміки ареалів різних видів ховрахів (*Spermophilus*) (Popova et al., 2018). Хоч рештки ховраха у даному місцезнаходженні представлені десятьма екземплярами, із них задовільному визначенню піддаються тільки 6, переважно ті, що належать до другої групи

збереженості (цілі щелепи). Ізольовані зуби часто мають пошкоджену поверхню. Для видової ідентифікації полівок така збереженість не критична, але видові ознаки ховрахів при такому стані збереженості знищуються. Тому пошкоджені екземпляри не замальовувалися і не бралися до уваги при вивченні паттернів бунодонності даної вибірки, але наведені у списку фауни. Ураховуючи звичайну для ховрахів строгую алопатрію ареалів, віднесення пошкоджених зубів ховрахів до того ж виду, що й краще збережені рештки, не викликає сумнівів.

Результати.

Геологічна будова. Місцезнаходження Віняви в 1,5 км на південь від села Віняви, Львівської обл. на березі р. Щирка, у долині її лівої притоки (координати 49.663188, 23.961998). Тут у вертикальній стінці недиючого піщаного кар'єру відслонюються породи опільської світи нижньої частини баденського регіонарусу середнього неогену (Державна геологічна карта України, 2004). Відслонення представлено горизонтально залягаючими світлими сіроковтими пісками із прошарками слабкозцементованих пісковиків, перекиритими масивними добре зцементованими вапняковистими пісковицями (рис. 1, а).

Місцевим мешканцем О. Столяром тут було знайдено викопні рештки крупних ссавців (печерна гієна, лисиця). Рештки містяться у заповнених піском ходах і печерках у слабкозцементованих пісковицях, під карнизом вапняковистих пісковиків. Напрямок ходів можна було простежити тільки за ступенем міцності породи (не порушені пісковики міцніші, а самі ходи, у середньому 0,5 м у діаметрі, заповнені пухкими пісками того ж складу). Крім крупної фауни, був виявлений і мікротеріологічний матеріал (рис. 2).

Склад фауни. Дослідження місцезнаходження і подальші збори дрібної теріофауни проводилися нами у травні 2013 р. за запрошенням і сприянням О. Столяра. Склад фауни дрібних ссавців місцезнаходження загалом такий:

Sorex sp. – 1; *Crocidura* sp. – 1; *Ochotona* sp. – 2; *Sicista* sp. – 2; *Spermophilus odessanus* – 10; *Lemmus* sp. – 1; *Arvicola chosaricus* – 9; *Microtus oeconomus* – 2; *M. gregalis* – 11; *M. arvalis* – 1.

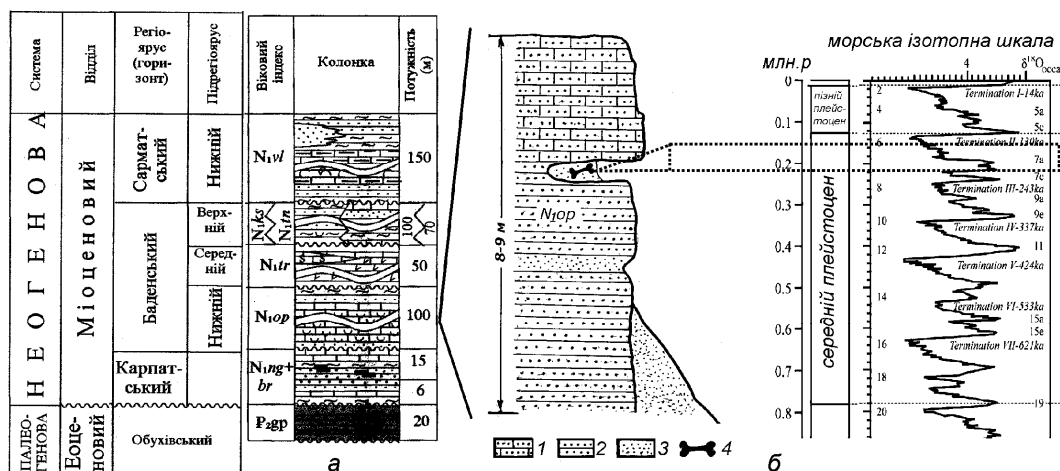


Рис. 1. Геологічна будова і стратиграфія місцезнаходження Віняви: а) будова і вік опільських пісковиків, у яких розвинуті печерки; б) стратиграфічний діапазон, якому відповідає викопна фауна: 1 – щільно зцементовані вапняковисті пісковики, 2 – слабкозцементовані пісковики, 3 – піски

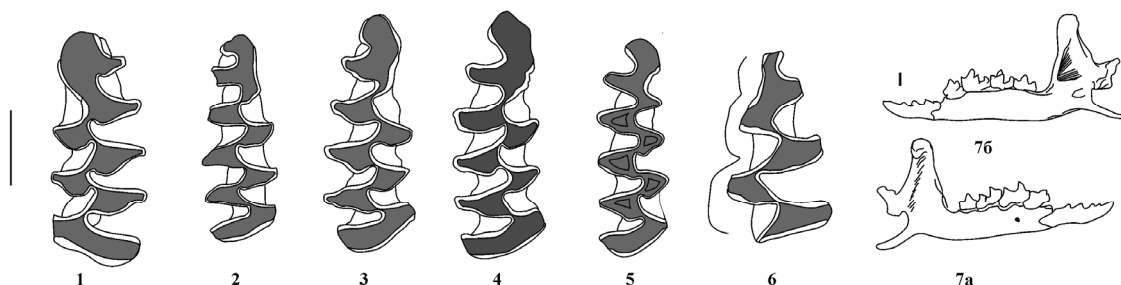


Рис. 2. Дрібна теріофауна з місцезнаходження Віняви:

1 – *Microtus oeconomus*, 2–4 – *M. gregalis*, 5 – *M. arvalis*, 6 – *Lemmussp.*, 7 – *Sorex sp.*, 7, а – вигляд щелепи ззовні, 7, б – ізсередини. Масштаб – 1 мм

Тафономія. Мікротеріологічні знахідки були виявлені у трьох точках (печерках), приурочених до верхньої частини слабкозцементованих глауконіт-кварцових пісковиків безпосередньо під покрівлю потужних добре зцементованих бурих пісковиків. Ці останні, як показує значна вивітрілість їхньої покрівлі, у минулому могли створювати природний причілок – притулок для нічних хижих птахів і хижих ссавців (печерний лев, печерна гієна, лисиця, рештки яких тут знайдено). Хижі ссавці, крім того, заглиблювалися у схил, копаючи лігва.

Упадає в око наявність двох різко відмінних типів збереженості:

1) Рештки із пелет у власному розумінні, тобто із здобичі, що була з'їдена – переважно, ізольовані зуби: у полівок спостерігаються характерним чином розчинені вихідні кути молярів, розчинена поверхня різців (Andrews, 1990).

2) Рештки здобичі, принесеної для вигодовування пташенят. Голови здобичі при цьому не поїдаються, і таким чином черепи і нижньощелепні гілки залишаються відносно цілими.

Рештки здобичі хижих звірів у даному тафоценозі також представлені, і можуть входити до обох груп. Звичайно, різні хижаки замешкували зручний причілок над долиною неодноразово і фауна до певної міри хронологічно неоднорідна.

Еволюційний рівень фауни та її геологічний вік визначалися з урахуванням хронологічної неоднорідності матеріалу. Для цього досліджувалися коефіцієнти варіації (CV) показників еволюційного рівня арвіколід, як це запропоновано Тесаковим (2004). Природно, що полівки із сучасних популяцій часто мають значення CV, істотно нижчі, ніж викопний матеріал, який накопичується у тафоценозі десятиріччями, сторіччями або і довше – залежно від типу тафоценозу. Наприклад, сучасні представники роду

Microtus з території України, *M. laevis* з Івано-Франківської обл., мають значення CV 5,88; 6,65 та 2,4 для показників L, A та A/L відповідно. Лорівняти із цими даними, а також з полівками різних місцезнаходжень середнього плейстоцену (табл. 1) вибірки *Arvicola* та *M. Gregalis* з Віняв дещо гетерохронні. Водночас рівень CV = 20, який Тесаков (2004) визначив як критерій перевідкладення, далеко не досягається. Тобто в хронологічному відношенні тафоценоз Віняви можна розглядати як єдине ціле.

Водяна полівка, якщо слідувати загальноприйнятій методикі (Heinrich, 1990), належить до виду *A. chosaricus*. Близькість фауни Віняв до інших хазарських місцезнаходжень України підтверджують також і дані по інших полівках (табл. 1). З огляду на це, можливість вимірювання SDQ у водяних полівках за всіма наявними молярами (Van Kolfshoten, 1990) потребує уточнень. Здається, такий підхід буде завищувати значення SDQ.

За морфотипним складом вузькочерепної нориці фауна Віняв більш архаїчна, ніж фауна Єриствського кар'єру, Новгорода-Сіверського та рештки III групи фосильності із сучасного руслового алювію Дніпра (Popova, 2004) (рис. 3). Тут слід брати до уваги співвідношення між основними для вибірки морфотипами, оскільки відміни за часткою рідкісних у кінці середнього плейстоцену архаїчного морфотипу I та прогресивних IV і V можуть бути спричинені недостатнім розміром вибірки.

Ховрахи Віняв за пропорціями коронки досить близькі до сучасних *S. odessanus* (прямокутні обриси верхньощічних, на відміну від трикутних у *S. citellus*), дещо відрізняючись ширшими цингульми (це відміна також і від вимерлих *S. citelloides*, з їхніми укороченими верхніми та нижніми молярами) і меншою висотою коронки. Розміри зубів дрібніші, ніж у сучасних *S. odessanus*, за винятком задньощічних (довжина останнього верхнього моляра

2,71 мм, ширина 2,8 мм, A/L = 96,6 %, що ближче до *S. odessanus*, ніж до будь-якого із вимерлих і рецентних видів (див. рис. 4, б). Від *S. citellus* відрізняються неповним (на третину довжини) зростанням коренів на четвертому нижньому премоларі (стан, найбільш звичайний для

крапчастих ховрахів і для вимерлих *S. Citelloides* (Громов и др., 1965). Патерни бунодонності ховраха із Віняв також відповідають таким *S. Odessanus* (рис. 4, а).

Таблиця 1

Еволюційний рівень фауни порівняно з дослідженими раніше місцезнаходженнями										
ознака	n	Arvicolachosaricus, Віняви				CV	Microtus gregalis, Віняви			
		середнє	min	max			середнє	min	max	CV
L M3, мм	1	2,4	—	—	—	—	—	—	—	—
L m1, мм	2	3,78	3,45	4,1	9,2	5	2,69	2,35	2,93	9,6
A m1, мм	2	1,78	1,6	1,95	6,6	7	1,46	1,28	1,65	10,1
A/L, %	2	46,97	46,38	47,56	2,5	5	55,16	54,26	57,89	2,8
SDQ, % (Heinrich, 1990)	2	96,25	95,8	96,7	—	—	—	—	—	—
SDQ, % (Kolfshoten, 1990)	8	113,4	95,33	129,2	11,1	—	—	—	—	—
A. mosbachensis, Меджибіж (верхній цикл) (Rekovetsetal., 2007)										
L M3, мм	—	2,4	—	—	—	—	—	—	—	—
Lm1, мм	29	3,8	3,2	3,9	—	28	2,69	2,5	3,1	5,3
A m1, мм	29	1,55	1,1	1,7	—	28	1,48	1,3	1,65	6,2
A/L, %	29	43,45	34,4	47,2	—	28	54,4	50,9	59,3	—
SDQ, %[3]	29	118,7	91,66	150	—	—	—	—	—	—
A. mosbachensis/amphibius, Bisnic Cave (Socha, 2014)										
L m1, мм	—	—	—	—	—	34	2,75	2,45	3	4,9
A m1, мм	—	—	—	—	—	34	1,51	1,13	1,7	8,2
A/L, %	—	—	—	—	—	34	55,6	50,9	57,8	5,2
SDQ, MIS 6	10	100	90,5	110	11	—	—	—	—	—
SDQ, MIS 7	27	104	84	121	3,4	—	—	—	—	—
M. gregalis, Мамзіювка (Popova et al., 2017)										
L m1, мм	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
A m1, мм	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
A/L, %	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SDQ, MIS 6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SDQ, MIS 7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

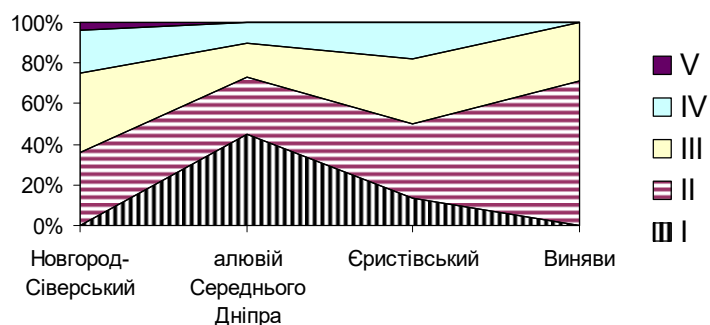


Рис. 3. Морфотипний склад *Microtus gregalis* з Віняв порівняно з іншими середнього та пізнього плейстоценовими місцезнаходженнями України (Popova, 2004), морфотипи за Л. І. Рековцем (1994)

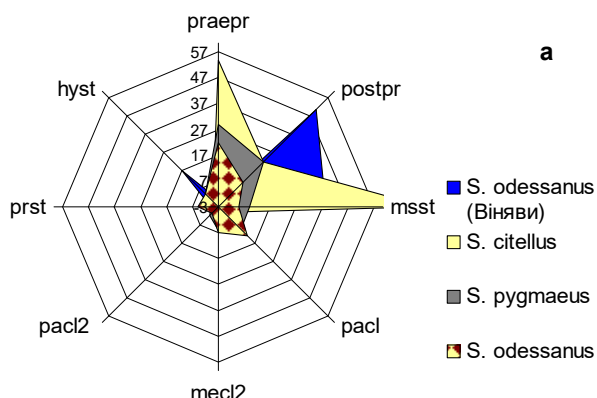
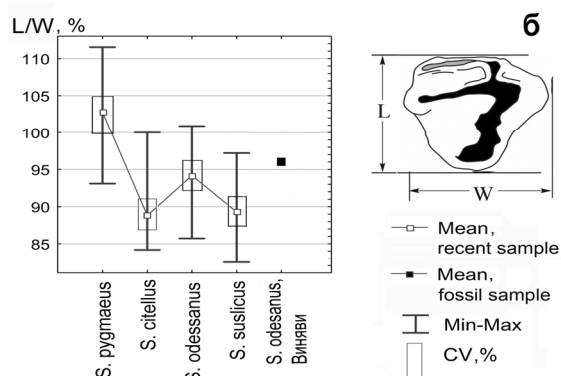


Рис. 4. Патерни бунодонності верхніх першого-другого моляра (а) та пропорції третього верхнього моляра ховрахів з Віняв (б) порівняно з відповідними показниками рецентних ховрахів території України (Popova, 2016)



Обговорення. Водяна полівка у фауні Віняв представлена видом *A. chosaricus*, що вказує на хазарський фауністичний комплекс середнього плейстоцену. За еволюційним рівнем арвіколід найближчим аналогом представляються фауни Матвіївки та Єристівського кар'єру (Popova et al., 2017).

В екологічному відношенні фауна Віняв скоріше нагадує Меджибіж, зокрема, дуже характерна риса – зовсім відсутні такі типово степові елементи, як лагуріди (Rekovetsetal., 2007). З іншого боку, у Вінявах, на відміну від Меджибожа, відсутні виразно теплолюбні форми, домінує холодолюбна вузькочерепна полівка, присутній лемінг, кліматично інформативне співвідношення

M. oeconomicus і *M. agrestis* (Підоплічко, 1931) свідчить про клімат більш холодний, ніж сучасний. Таким чином, у Передкарпатті під час формування тафоценозу домінували відкриті, але при цьому достатньо зволожені ландшафти, і значну площу займали заплави, чому відповідає велика кількість решток водної полівки.

Найбільш вірогідний хронологічний діапазон, на про який свідчать показники еволюційного рівня у поєднанні з екологічними особливостями фауни полівок – початок дніпровського часу (MIS 6 ізотопно-кисневої шкали, рис. 1, б). Кінець дніпровського часу, виходячи з показників еволюційного рівня, також не можна виключити, але проти цього свідчить відсутність виразно ксеро- і криофільних елементів і помітна частка порівняно термофільних видів (комахоїдні, мишівка).

Ховрахи представлені видом *S. odessanus*, що підтверджує пізнє (голоценове) (Громов і др., 1965) вселення сучасного мешканця Передкарпаття *S. citellus* на дану територію.

Висновки. Фауна печерного місцезнаходження Віняви має середньоплейстоценовий вік (дніпровський кліматоліт, скоріше за все – його перша половина). Найближчий віковий аналог Віняв – підморенна фауна місцезнаходження Матвійовка, а в екологічному відношенні фауна дещо нагадує Меджибіж. На основі мікротеріофауни Віняв для даної території слід реконструювати відкриті степові ландшафти з кліматом, більш холодним ніж сучасний, але достатньо зволеним (відсутні всі виразно ксерофільні елементи). Тафоценоз сформувався із здобичі хижих птахів і звірів, що замешкували причілок під уступом пісковиків.

Подяки. Дана робота є внеском у виконання проєктів INQUA 1501P і 1606P і держбюджетної теми № 16БФ049-01. Автори щиро дякують першовідкривачу даного місцезнаходження О. Столяру, а також Д. Пилипенку. Обидва вони надали неоцінну допомогу при збиранні матеріалу. Велика подяка І. Загороднюку за консультації з приводу характеру збереженості решток гризунів у первинних сучасних танатоценозах пелетного генезису.

Список використаних джерел

- Громов, И. М., Бибиков, Д. И., Калабухов, Н. И., Мейер, М. Н. (1965). Наземные беличьи (Marmotinae) // Фауна СССР. М.-Л. Т. 3. Млекопитающие. Вып. 2.
- Державна геологічна карта України. (2004). Масштаб 1: 200 000 аркуша М-35-ХІХ (Львів). Волино-Подільська серія. К.: Державна геологічна служба України.
- Крохмаль, А. И., Рековец, Л. И. (2010). Местонахождения мелких млекопитающих плейстоцена Украины и сопредельных территорий. Київ: Изд-во LAT&K.
- Підоплічко, І. Г. (1931). Матеріали до вивчення фауни ссавців України. Заміщення *Microtus oeconomus* на *Microtus agrestis*. Четвертинний період. Київ, 197-206.
- Рековец, Л. И. (1994). Мелкие млекопитающие антропогена юга Восточной Европы. Киев: Наукова думка.
- Тесаков, А. С. (2004). Биостратиграфия среднего плиоцена-эоплейстоцена Восточной Европы. Москва: Наука, Тр. ГИН РАН, 554.
- Andrews, P. (1990). Owls, Caves and Fossils. University of Chicago Press.
- Heinrich, W.-D. (1990). Some aspects of evolution and biostratigraphy of Arvicola (Mammalia, Rodentia) in the Central European Pleistocene. In: Fejfar O., Heinrich W.-D. (Eds.). *International Symposium Evolution, Phylogeny and Biostratigraphy of Arvicolids*. Prague, 165-180.
- Maul, L., Masini, F., Abazzi, L., Turner, A. (1998). The use of morphometric data for absolute age calibration of some South and Middle European arvicolids populations. *Paleontographia Italica*, 85, 111-151.

Popova, L. (2016). Occlusal pattern of cheek teeth in extant *Spermophilus*: A new approach to the identification of species. *Journal of morphology*, 277(6), 814-825. doi: 10.1002/jmor.20537.

Popova, L. V. (2004). The micromammal fauna of the Dnieper modern channel alluvium: taphonomic and biostratigraphic implications. *Quaternaire*, 15(1), 233-242.

Popova, L. V., Maul, L. C., Zagorodniuk, I. V., Veklych, Y. M., Shydlovskiy, P. S., Pogodina, N. V. et al. (2018). 'Good fences make good neighbours': Concepts and records of range dynamics in ground squirrels and geographical barriers in the Pleistocene of the Circum-Black Sea area. *Quaternary International*. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2018.03.023>

Popova, L., Veklych, Yu., Rekovets, L. (2017). An impact of the Dnieper glaciation on the small mammal fauna and landscape of the Middle Dnieper area. *XI International Scientific Conference "Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment"*. 11–14 October 2017, Kyiv, Ukraine.

Rekovets, L., Chepalyga, A., Povodyrenko, V., 2007. Geology and mammalian fauna of the Middle Pleistocene site, Medzhybozh, Ukraine. *Quaternary International*, 160, 70-80. doi: 10.1016/j.quaint.2006.09.014.

Socha, P. (2014). Rodent palaeofaunas from Biśnik Cave (Kraków-Częstochowa Upland, Poland): palaeoecological, palaeoclimatic and biostratigraphic reconstruction. *Quaternary International*, 326, 64-81. doi: 10.1016/j.quaint.2013.12.027

Van Kolfschoten T. (1990). The evolution of the mammal fauna in the Netherlands and the middle Rhine Area (Western Germany) during the late Middle Pleistocene. *Mededelingen rijk geologische dienst*, 43 (3), 1-66.

References

- Andrews, P. (1990). Owls, Caves and Fossils. University of Chicago Press.
- Gromov, I. M., Bibikov, D. I., Kalabukhov, N. I., Meier, M. N. (1965). Ground squirrels (Marmotinae). In: Fauna of the USSR. Mammals. Moscow–Leningrad: Nauka. [in Russian]
- Heinrich, W.-D. (1990). Some aspects of evolution and biostratigraphy of Arvicola (Mammalia, Rodentia) in the Central European Pleistocene. In: Fejfar O., Heinrich W.-D. (Eds.). *International Symposium Evolution, Phylogeny and Biostratigraphy of Arvicolids*. Prague, 165-180.
- Krokhmal, A. I., Rekovets, L. I. (2010). Small Mammal Localities of the Pleistocene of Ukraine and Adjoining Areas. Kyiv. [in Russian]
- Maul, L., Masini, F., Abazzi, L., Turner, A. (1998). The use of morphometric data for absolute age calibration of some South and Middle European arvicolids populations. *Paleontographia Italica*, 85, 111-151.
- Pidoplichko, I. G. (1931). Materials to study mammal fauna of Ukraine, 1. Displacing *Microtus oeconomus* with *Microtus agrestis*. Kyiv. *Quaternary period*, 197-206. [in Russian]
- Popova, L. (2016). Occlusal pattern of cheek teeth in extant *Spermophilus*: A new approach to the identification of species. *Journal of morphology*, 277 (6), 814-825. doi: 10.1002/jmor.20537.
- Popova, L. V. (2004). The micromammal fauna of the Dnieper modern channel alluvium: taphonomic and biostratigraphic implications. *Quaternaire*, 15(1), 233-242.
- Popova, L. V., Maul, L. C., Zagorodniuk, I. V., Veklych, Y. M., Shydlovskiy, P. S., Pogodina, N. V., Parfitt, S. A. (2018). 'Good fences make good neighbours': Concepts and records of range dynamics in ground squirrels and geographical barriers in the Pleistocene of the Circum-Black Sea area. *Quaternary International*. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2018.03.023>
- Popova, L., Veklych, Yu., Rekovets, L. (2017). An impact of the Dnieper glaciation on the small mammal fauna and landscape of the Middle Dnieper area. *XI International Scientific Conference "Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment"*. 11–14 October 2017, Kyiv, Ukraine.
- Rekovets, L. I. (1994). Small Mammals of the Antropogene of the South of the Eastern Europe. Kyiv: Naukova dumka Press. [in Russian]
- Rekovets, L., Chepalyga, A., Povodyrenko, V. (2007). Geology and mammalian fauna of the Middle Pleistocene site, Medzhybozh, Ukraine. *Quaternary International*, 160, 70-80. doi: 10.1016/j.quaint.2006.09.014.
- Socha, P. (2014). Rodent palaeofaunas from Biśnik Cave (Kraków-Częstochowa Upland, Poland): palaeoecological, palaeoclimatic and biostratigraphic reconstruction. *Quaternary International*, 326, 64-81. doi: 10.1016/j.quaint.2013.12.027.
- State Geological Map of Ukraine (2004). Scale 1:200 000 Volyn-Podolian Series. Sheet M-35-XIX. (L'viv). Kyiv: State Committee of natural resources. [in Ukrainian]
- Tesakov, A. S. (2004). Biostratigraphy of the Middle Pliocene-Eopleistocene of Eastern Europe. Moscow: Nauka. [in Russian]
- Van Kolfschoten T. (1990). The evolution of the mammal fauna in the Netherlands and the middle Rhine Area (Western Germany) during the late Middle Pleistocene. *Mededelingen rijk geologische dienst*, 43 (3), 1-66.

Надійшла до редколегії 26.09.18

L. Popova, Cand. Sci. (Geol.), Senior researcher
E-mail: liliapopovalilia@gmail.com;
M. Krochak, Cand. Sci. (Geol.-min.), Assoc. Prof.
E-mail: mkrochak1960@gmail.com
Taras Shevchenko National University of Kyiv
Institute of Geology, 90, Vasilkivska Str., Kiev, 03022, Ukraine;
O. Krokhmal', Cand. Sci. (Geol.), Senior researcher
E-mail: krohmal1959@ukr.net;
E. Tzyzh, PhD student, E-mail: evgeniya.czyzh@gmail.com
Geological Institute of NAS of Ukraine
55-b, O. Honchar Str., Kyiv, 01054, Ukraine

MIDDLE PLEISTOCENE SMALL MAMMAL FAUNA OF THE CAVE LOCALITY AT VINYAVY (L'VIV REGION)

A new locality of the Pleistocene small mammals at Vynyavy (L'viv region) has been discovered in the filling of rock shelters beneath the massive well-cemented sandstone of the Opillia Suite of the Badenian, the Middle Neogene. The locality was formed as a result of pellet accumulation. Predators, whose activity was forming the taphocoenosis, were birds and predatory beasts that inhabited the rock shelters and small caves in the looser underlying sandstone. The fauna includes fossils of insectivores, lagomorphs and rodents. The presence of *Arvicolachosaricus* and the evolutionary level of other arvicolidids allow identification of this fauna as Khasarian one. The closest analogue of Vynyavy, with respect to the geological age, is a fauna from sub-moraine deposits of the Dnieper area, Matviivka. Ecologically, Vynyavy fauna shows similarity with Medzhybizh (Syngilian fauna of the Bug area). Geological age of the locality is the Middle Pleistocene, Dnieprobian climatology, and, taking into account ecological features of the fauna, most likely, its beginning. On the basis of small mammal fauna, open steppe habitats should be reconstructed for the time span presented by Vynyavy fauna. Climate was colder than the present one, although not extremely cold, which is evidenced by the presence of insectivores. Climate was also wet enough, as soon as all xerophilous species are absent. Special characteristic feature is the absence of *Laguridae*, usual for the Pleistocene of Ukrainian group. Arctic component is presented by a lemming. High percentage of the water vole in the taphocoenosis indicates extensive areas of flood-plains and high fluvial activity, which could be expected during interstadials rather than during cold epochs. Otherwise, a decrease of seasonal floods would have resulted in foresting of valley and, as a consequence, in the appearance of forest mammal species, which are observed in Vynyavy fauna. Remains of ground squirrels belong to *Spermophilus odessanus*, a fact that supports a recent (Holocene) colonization of this area by its present inhabitant, *S. citellus*.

Keywords: Middle Pleistocene, small mammal fauna, voles, evolutionary level, palaeoecology.

Л. Попова, канд. геол. наук, ст. науч. сотр.
E-mail: liliapopovalilia@gmail.com;
М. Крочак, канд. геол.-минералог. наук, доц.
E-mail: mkrochak1960@gmail.com
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко
УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, Киев, 03022, Украина;
А. Крохмаль, канд. геол. наук, ст. науч. сотр.
E-mail: krohmal1959@ukr.net;
Е. Цыж, асп., E-mail: evgeniya.czyzh@gmail.com
ИГН НАН Украины, ул. О. Гончара, 55, б, Киев, 01054, Украина

СРЕДНЕПЛЕЙСТОЦЕНОВАЯ МИКРОТЕРИОФАУНА ПЕЩЕРНОГО МЕСТОНАХОЖДЕНИЯ ВИНЯВЫ (ЛЬВОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Новое местонахождение плейстоценовых мелких млекопитающих Винявы (Львовская обл.) было обнаружено в заполнении скальных навесов и карнизов под уступом массивных хорошо сцементированных песчаников опольской свиты бадения, средний неоген. Местонахождение сформировалось в результате аккумуляции пеллет хищных птиц и млекопитающих, заселявших навесы и ходы в более рыхлых подстилающих песчаниках. Фауна включает остатки насекомоядных, зайцеобразных и грызунов. Присутствие *Arvicolachosaricus* и эволюционный уровень остальных арвиколид позволяет отнести эту фауну к хазарскому фаунистическому комплексу. Ближайший возрастной аналог Винявы – подморенная фауна Матвеевки (Среднее Поднепровье). В экологическом аспекте Винявы ближе всего к Меджибожу (сингильская фауна Побужья). Геологический возраст местонахождения – средний плейстоцен, днепровский климатолит и, если принять во внимание экологические особенности фауны, то скорее всего его начало. Для временного отрезка существования фауны Винявы по микротериологическим данным реконструируются открытые степные биотопы. Климат был холоднее современного, но не экстремальный, о чем свидетельствует присутствие насекомоядных, и достаточно влажный, поскольку все определенно ксерофильные элементы отсутствуют. Особенно характерно отсутствие такой обычной для плейстоценовых фаун Украины группы, как лагуриды. Арктический компонент представлен леммингом. Значительное представительство водяной полевки в тафоценозе свидетельствует о значительной площади пойм и высокой гидродинамической активности, какую следует ожидать скорее для интерстадиалов, чем для холодных эпох. В противном случае, ослабление сезонных паводков привело бы к залеснению пойм и появлению лесных видов фауны, чего не наблюдается. Остатки суслика принадлежат *Spermophilus odessanus*, что подтверждает недавнее (голоценовое) вселение на эту территорию ее современного обитателя *S. citellus*.

Ключевые слова: средний плейстоцен, фауна мелких млекопитающих, полевки, эволюционный уровень, палеоэкология.

МІНЕРАЛОГІЯ, ГЕОХІМІЯ ТА ПЕТРОГРАФІЯ

UDC 549:553.31(477.63)

S. Tikhliyets, PhD (Geol.), Senior lecturer
E-mail: tikhliyets.svetlana@gmail.com
Kryvyi Rih National University
37 Pushkina Str., Kryvyi Rih, 50002, Ukraine

**MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF MAGNETITE AND QUARTZ
IN THE PRODUCTIVE STRATA OF NORTHERN DISTRICT OF KRYVYI RIH BASIN**

(Представлено членом редакційної колегії д-ом геол. наук, проф. О. В. Митрохином)

Currently, the main task for the geological service of Hannivka deposit of the Northern Ore Mining and Processing Works is to ensure the Ore Mining and Processing Works with raw materials, which allows receiving high-quality iron ore concentrate that meets the requirements of the world market. It is only possible to meet this challenge taking into account the morphological features of the main rock-forming minerals, and as a consequence, the natural capabilities of the ores, their dressability by increasing the efficiency of the blending ores of various mineral varieties and of different technological potential, in order to achieve the optimal composition of the ore mixture, which is fed to the beneficiation plant.

Morphological studies of the main minerals in unchanged and metasomatically altered ferruginous quartzites were performed according to the standard method. Measurement of the magnetite and quartz grain sizes was carried out using an eyepiece micrometer mounted on a mineralographic microscope. The determining of their average indexes was carried out with the use of mathematical methods.

The results of the study of the main morphological characteristics of iron ore-bearing minerals and their variations, depending on the location within the unchanged and metasomatically altered ferruginous quartz of Hannivka deposits at Northern region are represented. The results of the study of the dihedral angles of magnetite and quartz crystals, changes in the particle size distribution of these minerals, depending on the imposed geological processes on the banded-iron formation of Kryvyi Rih basin are shown.

The scientific novelty consists in detailed conducting of mineralogical researches of the magnetite and quartz morphological features depending on their location in the section of the banded-iron formation of the Kryvyi Rih basin and in the further utilization of these results in topomineralogical mapping of the Northern region.

The obtained variability of the main minerals' morphology of the ore-bearing strata must be taken into account in the mineral mapping of the deposit and the Northern region of the Kryvyi Rih basin in general, when specifying the mineral-technological classification of ores and the blended mineral varieties of ores before feeding to the beneficiation plant.

Keywords: Ukrainian Shield, Kryvyi Rih basin, Hannivka deposit, ferrous siliceous formation, iron quartzite, magnetite morphology, quartz morphology.

Challenge problem. Iron ore deposits of the Kryvyi Rih basin have been developed since 1881. Extraction and beneficiation of low-grade magnetite ores started in the middle of the twentieth century. At the current time, mining operations are carried out by five iron ore beneficiation plants at nine deposits. One of these deposits is that of Hannivka. At Hannivka, it is mined open-pit located in the Northern iron ore region. Its raw material base is composed of the fifth and sixth ferruginous horizons of the Saksagan series. In the section of the series there are ten stratigraphic horizons. All of them are composed of non-economic magnetite-silicate quartzites and quartz-silicate schists.

The main task for the geological services of the mining enterprises of Kryvyi Rih basin is to supply the Ore Mining and Processing Works with raw materials, which makes it possible to obtain high-quality iron ore concentrate that meets the requirements of the world market. The solution of this task is only possible taking into account the morphological features of the main rock-forming minerals. As a result, the natural capabilities of the ores, their dressability, increase in the efficiency of blending ores of various mineral varieties with different technological potential in order to achieve the optimal composition of the ore material, which is fed to the beneficiation plants.

One of the main directions of solving this task is the mineralogical study of the morphology of minerals, the allocation of mineral varieties and the mineralogical mapping of the deposit. It will allow outlining the deposits of ores with different mineral composition and different technological parameters.

Research analysis. The issue of dependence of the morphological, chemical, physical and other characteristics of minerals on the mineral composition of ferruginous quartzites, their position in the sections of deposits was studied by many preceding researchers (Belevtzev et al, 1962), (Gramenitskiy et.al, 2000), (Chernovskiy and Evtekhov, 1983), (Domarev, 1955), (Evtekhov and Poltavets, 1980), (Evtekhov et al., 1988), (Petrovskaya and Chuhrov, 1983), (Lepp, 1987), (Morris, 1983). The authors

concluded that there are general patterns of variation of most mineralogical parameters in sections of ore deposits of different genesis (Tikhliyets and Filenko, 2017).

In Evtekhov's (Evtekhov, 1992) and Karpenko's works (Karpenko, 2010) it was noted that all geological processes (sedimentogenesis, metamorphism, weathering, metasomatism, etc.) influenced the morphological features of minerals in different ways. These processes occurred within the banded-iron formation of the Kryvyi Rih basin. In some authors' works (Ilinskaya, 1969), (Pavlishin et al., 2003), (Pavlishin, 1984), (Tikhliyets and Filenko, 2018) the information is given about the composition and morphology of minerals of unaltered iron ore strata. In other authors' works (Belevtsev, 1986), (Domarev, 1955) the influence of sodium metasomatism on the morphology of minerals is mentioned. Namely, under conditions of metasomatic changes in the rocks of the banded-iron formation, metasomatic zoning is superimposed on the primary autigene-metamorphogenic zoning and inherits largely its features. As a result, polygenic formations having complex structures and variable mineral and chemical composition (sedimentation + metamorphism + metasomatism) are often observed in these zones. The detection of a metasomatic component in the process of their genesis is often complicated. The generalization of the results of studies on the change in the morphology of the main rock-forming minerals of the banded-iron formation of the Northern region in dependence on their location has not been carried out.

Objective of research. The objective of the research is grounded on the need for mineralogical mapping of iron ore deposits of Kryvyi Rih basin. The research was conducted at the example of Hannivka deposit, which represents manifestations of all major varieties of the autigene-metamorphogenic zoning and superimposed secondary processes.

In the process of the mineralogical mapping of ferruginous siliceous formation of the deposit carried out by the authors, numerous signs of the variability of morphological and anatomical characteristics of the

ore-forming, secondary and accessory minerals of ferruginous quartzites were recorded. Therefore, it was decided to study in detail the changes in morphology and dihedral angles of magnetite and quartz crystals that are the main rock-forming minerals of the iron ore strata. This will solve the task settled for geological services to increase the ore blending, and, as a consequence, to improve the quality of iron ore concentrate and its ratio.

Laying out the main material.

The autigene-metamorphogenic mineralogical zoning of the fifth and sixth ferruginous horizons of Hannivka deposit is due to a change of the quantitative correlation of ore-forming minerals (quartz, magnetite, micaceous-hematite and cummingtonite) in their sections, as well as the size and shape of their crystals. The author researched the ferruginous quartzites of all mineral varieties of both ferruginous horizons of the productive strata in order to detect possible patterns of variation of minerals' morphological parameters and to establish quantitative estimates of these parameters.

248 samples of ores were selected, 236 transparent and 278 polished microsections were made from their material. Minerals' quantification of morphological features was carried out using proved mineralogical and petrographic methods.

Magnetite and quartz form ore layers of unchanged magnetite quartzite, magnetite occasionally occurs in the form of small inclusions in non-ore layers, as well as in ore and non-ore layers of metasomatically changed ferruginous quartzites.

The results of microscopic studies have shown that the character of the aggregation of magnetite individuals naturally changes in the horizon section. Ribbon-shaped, more rarely block-shaped, dendrite aggregates of magnetite (fig. 1) are typical for the central zone of the fifth ferruginous horizon, which is represented by micaceous hematite quartzite; ribbon-shaped aggregates are less typical for magnetite and cummingtonite-magnetite quartzites in intermediate zones, they're dominated by the block-shaped and dendrite ones.

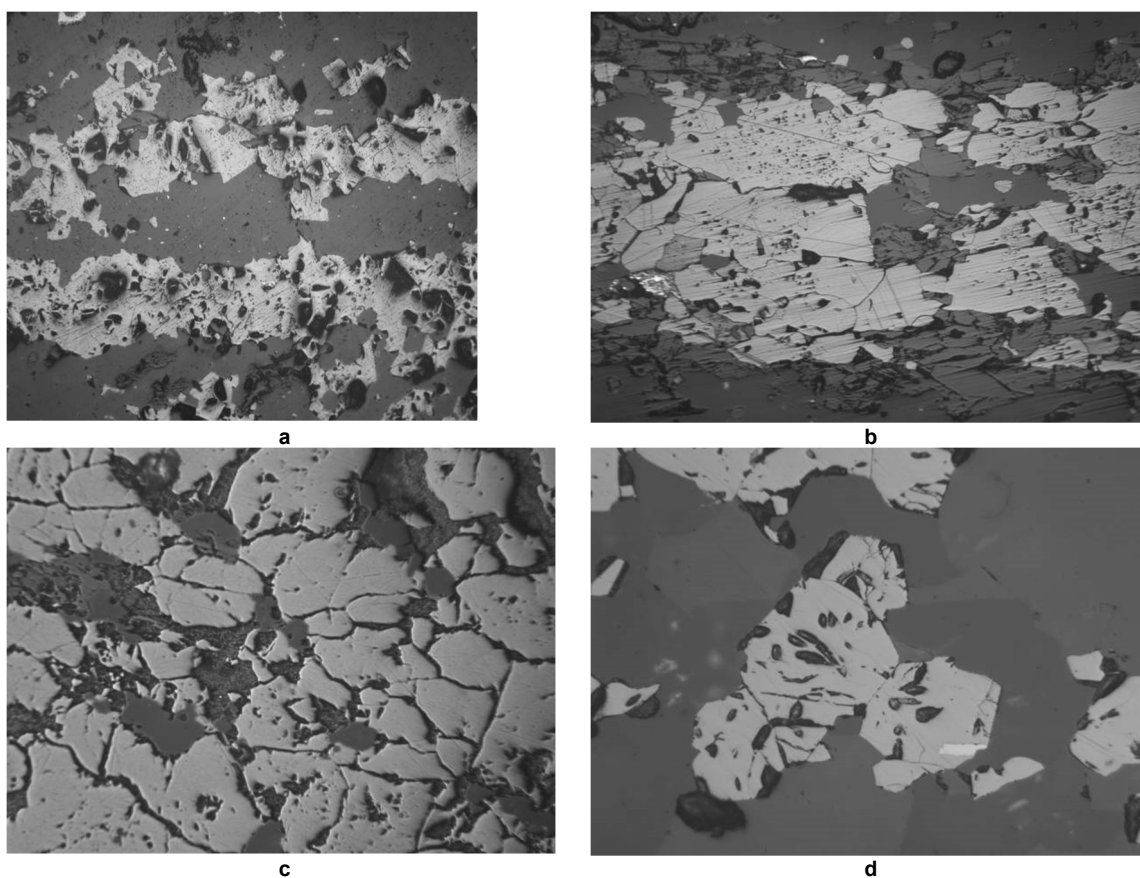


Fig. 1. The variability of magnetite aggregation in the mineral zones of the productive strata of Hannivka deposit:
a – ribbon-shaped aggregates of magnetite in micaceous-hematite-magnetite quartzites; b – block-shaped aggregates of magnetite in magnetite quartzites; c – dendrite aggregates of magnetite from cummingtonite-quartzites; d – subautomorphic individuals of magnetite from magnetite-cummingtonite quartzites. Microscopic observations in translucent light.
Nicol prism II. Magnification – 30 $\times$; b-d – 50 $\times$. Light grey colour – magnetite; dark grey colour – quartz

Larger individuals of magnetite are more typical for cummingtonite-magnetite quartzites. Large block aggregates and single large, subautomorphic individuals of magnetite are typical for the peripheral zones of magnetite-cummingtonite quartzites.

The change in the morphology of aggregates in mineralogical zones was also revealed for magnetite from sodium metasomatites bodies. Monomineral aggregates (ribbon-shaped, block-shaped) are typical for zones of riebeckitization. The aggregates of more complex morphology are typical for zones of aegirinization and silification of ferruginous quartzites, they are dendrite-block shaped, dendrite, and

also impregnated ones (fig. 2). In the author's opinion, the reason for this is an active replacement of individuals and aggregates of magnetite with newly formed aegirine (alkaline metasomatizing solutions) and quartz (acidic solutions).

The zones of riebeckitization were formed by the influence of neutral solutions. These solutions contributed to the recrystallization of magnetite, which was accompanied by consolidation of its crystals and formation of aggregates. These aggregates were close in composition to the monomineral ones (fig. 2, b).

The tendency towards simplification of crystal form, approaching it to the crystallographically perfect form, can

be illustrated by a decrease of the dihedral angles divergence from 120° at triple points of the magnetite aggregates (Zhabin, 1979).

The dihedral angle measurements were performed by the author with the use of mineragráfical microscopes in polished sections after pickling them for a short-time (30-40 sec.) in the hydrochloric acid steam. Measurements of three dihedral edges around triple points of contacts of magnetite crystals were performed for each microsection. The calculations were made for magnetite from unchanged and

metasomatically changed ferruginous quartzites. The obtained results in the generalized form are given in the table 1 and 2.

According to the data obtained, the divergence of the dihedral angle from the ideal (120°) naturally and gradually decreases from micaceous-hematite-magnetite to magnetite-cumingtonite quartzites, that is to say, from the central to the peripheral productive strata zones of ferruginous horizons. The index of the mean square deviation of the dihedral angles is also reduced in this direction.

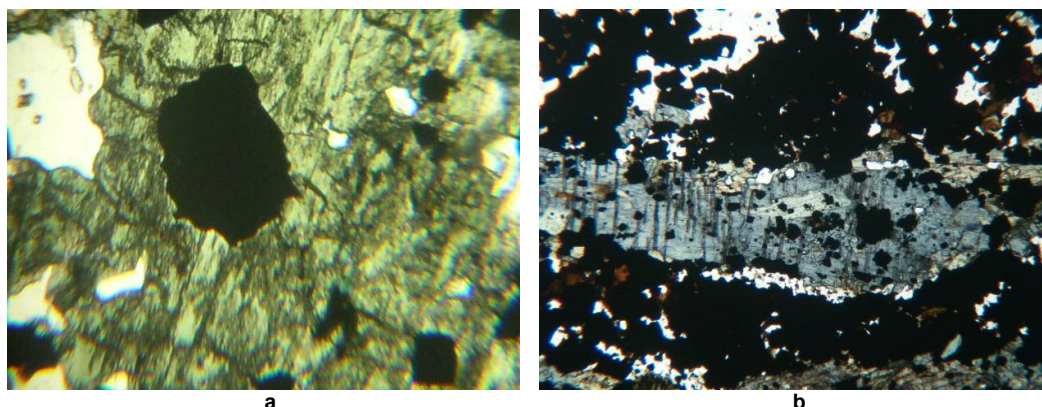


Fig. 2. Magnetite morphology by mineral zones of sodium metasomatites of Hannivka deposit:

a – inclusions of magnetite crystals in the zones of aegirinization; b – monomineral aggregates of magnetite in zones of riebeckitization; Microscopic observations in translucent light. Nicol prism II. Magnification of $50\times$. Legend: white colour – quartz; black colour – magnetite; blue colour– riebeckite; green colour– aegirine; brown colour- tetraferrousbiotite

Table 1

Morphological characteristics of magnetite from unchanged ferruginous quartzites of the productive strata of Hannivka deposit

№	Mineral varieties of ferruginous quartzites	Dihedral angles around triple points $\pm (120^\circ - \alpha)$		
		n	x	S _x
1	micaceous-hematite-magnetite quartzites	18	10,1	6,1
2	magnetite quartzites	13	9,7	5,5
3	cumingtonite-magnetite quartzites	10	9,3	5,6
4	magnetite-cumingtonite quartzites	7	8,6	4,5

Studying the same indexes for mineralogical zones of metasomatic formations showed that in the zones of riebeckitization the growth of magnetite individuals is the closest to the ideal one (120°) comparing to the zones of aegirinization

and silification. This is confirmed by the above mentioned conclusion about the active dissolution and substitution of the magnetite crystals in the zones of aegirinization and silification, which determined their xenomorphism (fig. 2, a).

Table 2

Morphological characteristics of magnetite from sodium metasomatites of the productive strata of Hannivka deposit

№	Mineral varieties of metasomatites, formed in	Dihedral angles around triple points ± (120°-α)		
		n	x	S _x
micaceous-hematite-magnetite quartzites				
1	Coarse-crystallin eriebeckite-magnetite-aegirine metasomatites	15	7,4	3,7
2	Micaceous-hematite-riebeckite-magnetitequartzites	13	6,7	2,1
3	micaceous-hematite-magnetite quartzites silicified	13	8,2	3,5
magnetite quartzites				
4	Coarse-crystallineriebeckite-magnetite-aegirine metasomatites	15	7,8	3,7
5	Riebeckite-magnetite quartzites	7	7,4	1,8
6	Magnetite quartzites silicified	14	8,2	2,7

Notes: n – number of definitions; x is the average value of the indicators; S_x – standard deviation.

According to the study of magnetite particle size distribution, because of the mineralogical zoning of the fifth and sixth ferruginous horizons, the size of its crystals also naturally changes. Measurement was made with an eyepiece micrometer installed on a mineralographic microscope. Polished microsections were pretreated with concentrated HCl for determining individuals' boundaries in magnetite aggregates (Initskaya et al., 1969). Measurements of the magnetite crystals' size were carried out in two directions (along and across lamination of magnetite quartzites). The average size of the crystals was determined as the arithmetical mean of these two indexes. Accuracy of

determination is 0,001 mm. About 150 determinations of the crystals' size were made for each polished section. The average value corresponded to the average size of the magnetite crystals of the corresponding sample. The research was carried out in polished sections of 27–38 samples of each mineral variety of ferruginous quartzites. The results are shown in fig. 3.

For more detailed analysis of the variability of the magnetite crystals size in sections of the ferruginous horizons, the recalculation of the obtained data (table 3) was also carried out after five granulometric classes of crystals (–0,02; +0,02–0,05; +0,05–0,1; +0,1–0,2; +0,2 mm).

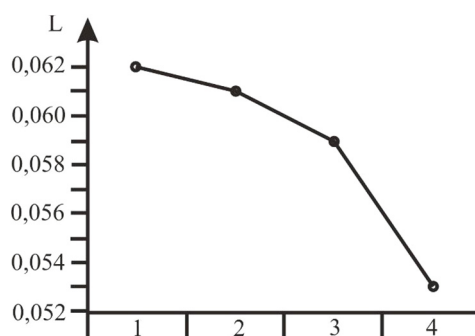


Fig. 3. Change in the average size of magnetite (L, mm) by mineral varieties of ferruginous quartzites in the productive strata of the deposit:

Mineral varieties of quartzite: 1 – micaceous-hematite-magnetite; 2 – magnetite; 3 – cummingtonite-magnetite; 4 – magnetite-cummingtonite

Table 3

Particle size distribution of magnetite from the initial unaltered ferruginous quartzites of Hannivka deposit productive strata

№	Mineral varieties	Content (vol. %) of individuals and aggregates of magnetite in size, mm					average	Number of definitions (thin sections)
		less 0,02	0,02–0,05	0,05–0,1	0,1–0,2	more 0,2		
1	micaceous-hematite-magnetite quartzites	19,2	33,7	26,1	15,3	5,7	0,062	26
2	magnetite quartzites	21,8	31,1	26,0	14,6	6,5	0,061	27
3	cummingtonite-magnetite quartzites	27,7	25,7	24,2	13,4	9,0	0,059	24
4	magnetite-cummingtonite quartzites	29,2	21,9	23,6	9,7	10,1	0,053	21

There was a persistent tendency of increase in number of magnetite crystals that are less than 0.02 mm in size and more than 0.1 mm in size (the smallest and largest of them) in the direction from the central to the peripheral zones of both ferruginous horizons. The formation of the large crystals, in the author's view, can be explained by the magnetite accumulative recrystallization during cummingtonization of ferruginous quartzites in the contact areas of the horizons. This

recrystallization was accompanied by the bimetasomatic phenomena at the progressive stage of diagenetic metamorphism of ferruginous rocks. Bimetasomatism was also accompanied by the active substitution of fine-grained magnetite with cummingtonite. This process resulted in the presence of a large number of small relict magnetite aggregates of the size up to 0.02 mm in the composition of magnetite-cummingtonite and cummingtonite-magnetite quartzites.

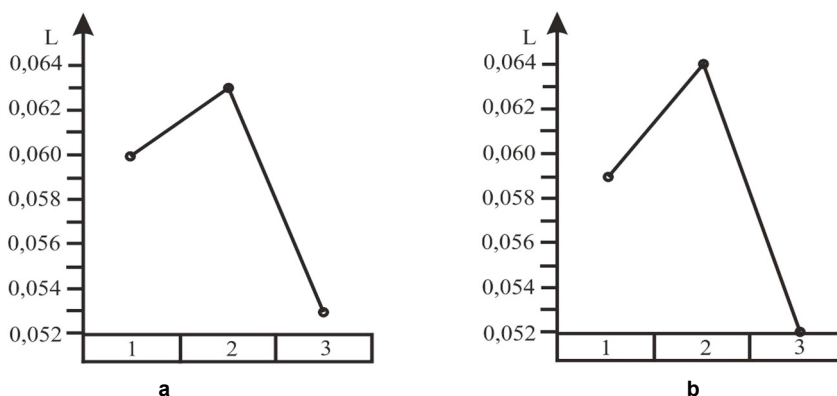


Fig. 4. The change in the average size of magnetite crystals (L, mm) in mineralogical zones of sodium metasomatites bodies, formed in micaceous-hematite-magnetite (a) and magnetite (b) quartzites of the fifth ferruginous horizon:

mineral zones: 1 – zone of aegirization; 2 – zone of riebeckitization; 3 – zone of silification

A different tendency is typical for other bodies of sodium metasomatites (table 4): the number of crystals of the size of more than 0.1 mm increases in the zones of riebeckitization; individuals of less than 0.05 mm are dominant in the central and peripheral areas. Therefore, the magnetite from the riebeckitized zones has larger average size than that from the zones of aegirization and silification.

Being ore-forming mineral, **quartz** is present in the ferruginous quartzite of all mineral varieties of both stratigraphic horizons of the productive strata. This mineral forms the main volume of non-metallic layers (85–99 vol. %) and as a minor mineral it is present (10–40 vol. %) in the ore layers.

In order to establish the laws for changing the morphology of individuals of quartz, their particle size distribution, the author conducted mass determinations of the corresponding indexes

in 466 polished microsection using petrographic microscopes and methods. These methods are similar to those used for morphological investigations of magnetite. The ferruginous quartzites, which form the autogenic zonation of ferruginous horizons and zonation of bodies of sodium metasomatites, were studied.

There exists a clear tendency towards simplifying the shape of quartz crystals in the sections of the ferruginous horizons in the direction from their central zones, consisting of micaceous-hematite-magnetite quartzites, through the intermediate ones, composed of magnetite and cummingtonite-magnetite quartzites, to the peripheral zones represented by magnetite-cummingtonite quartzites. This is manifested the most clearly in non-ore layers of ferruginous quartzites. Fine-grained aggregates of quartz with complex boundaries

of individuals growth, numerous poikiloblasts of small (0,001–0,01 mm) scale crystals of micaceous-hematite are typical for micaceous-hematite-magnetite quartzites (fig. 5, a). In non-ore layers of magnetite quartzite, xenomorphic porphyroblastic quartz is rare. Aggregates of quartz without poikiloblasts of micaceous-hematite are quite common. The polymodality of quartz individuals is more

characteristic for non-ore layers of cummingtonite-magnetite and magnetite-cummingtonite quartzites (fig. 5, b). This can be explained by the accumulative recrystallization of quartz aggregates which accompanied the synmetamorphic bimetasomatic processes in the contact zones of the ferruginous and schistose horizons (Evtukhov, 1992).

Table 4
Particle size distribution of magnetite from sodium metasomatites of the productive strata of Hannivka deposit

№	Mineral varieties of metasomatites, which were formed in	Content (vol.%) of individuals and aggregates of magnetite of size, mm					average	Number of definitions (thin section)
		less 0,02	0,02–0,05	0,05–0,1	0,1–0,2	more 0,2		
micaceous-hematite-magnetite quartzites								
1	Coarse-crystalline riebeckite-magnetite-aegirine metasomatites	21,3	28,2	32,9	11,0	6,6	0,060	23
2	Micaceous-hematite-riebeckite-magnetite quartzites	19,5	28,5	29,1	13,7	9,2	0,063	29
3	Micaceous-hematite-magnetite quartzites silificate	28,2	31,7	26,6	10,8	2,7	0,053	23
magnetite quartzites								
4	Coarse-crystalline riebeckite-magnetite-aegirine metasomatites	21,8	27,9	33,1	10,9	6,3	0,059	24
5	Riebeckite-magnetite quartzites	21,5	25,7	31,3	15,1	6,4	0,064	32
6	Magnetite quartzites silificate	28,8	31,8	25,9	9,8	3,7	0,052	25

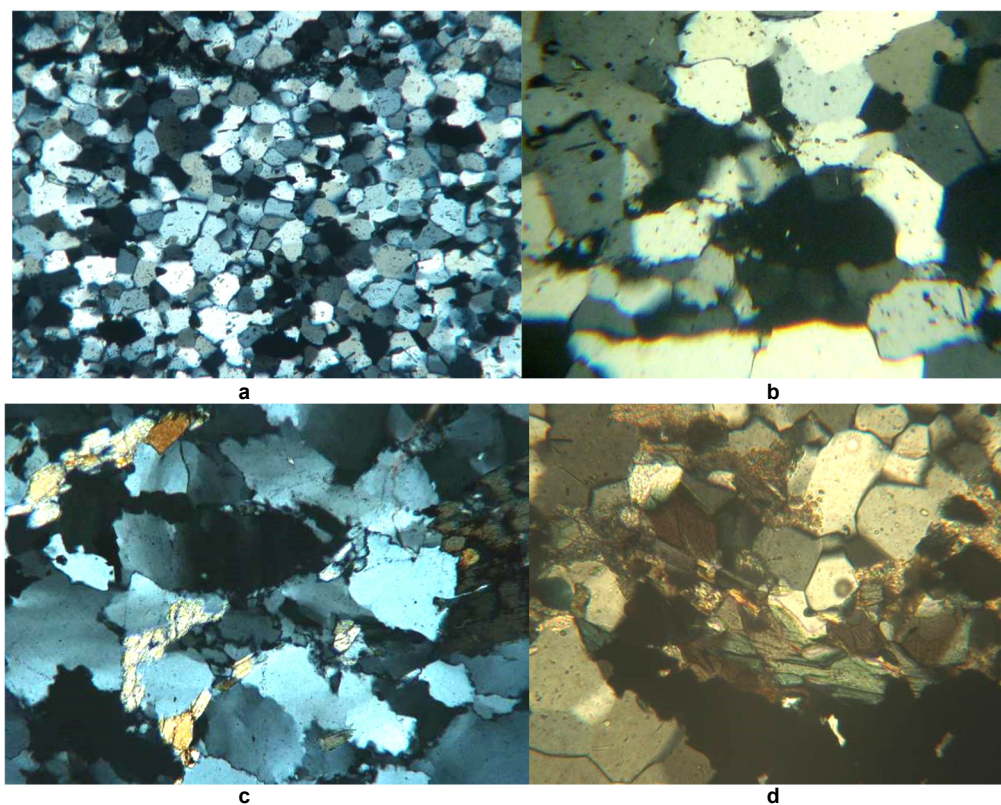


Fig. 5. Morphology of quartz in non-ore layers of the ferruginous quartzites of Hannivka deposit:

a – small crystals of quartz in micaceous-hematite-magnetite quartzites; b – crystals of quartz in non-ore layers of the cummingtonite-magnetite quartzites; c, d – quartz in sodium metasomatites. Microscopic observations in translucent light. Nicol prism X. Magnification 50^x. Colour from white to black – quartz; brown colour – tetraferrous biotite; yellow colour – cummingtonite

The inverse character of the evolution of the morphology of quartz individuals is determined for bodies of sodium metasomatites. The most perfect polygonal forms are characteristic for the central metasomatic zones, represented by aegirine metasomatites. The increased alkalinity of metasomatizing solutions caused here not only the substitution of quartz by aegirine and accumulating recrystallization of its crystals from polygonal aggregates formation (fig. 5, c) but also, this process was active in the intermediate zones of riebeckitization. In the peripheral zones of silification, quartz is represented by fine-grained aggregates of xenomorphic individuals (fig. 5, d).

The values of the dihedral angles at triple points of quartz aggregates (table 5 and 6) are closely related to the morphology of its individuals.

In the general case, the value of deviation of this index from 120° decreases significantly from polygonal aggregates to xenomorphic crystal ones. As a result, this tendency can be observed in the zones of the authigenic rhythms in the direction from the central to the peripheral zones of the ferruginous horizons and in the zones of metasomatic bodies in the opposite direction – from the peripheral to the central zones.

Table 5

Morphological characteristics of quartz from unchanged ferruginous quartzites of the productive strata of Hannivka deposit

№	Mineral varieties of ferruginous quartzites	Dihedral angles around triple points $\pm (120^\circ - \alpha)$		
		n	x	S _x
1	micaceous-hematite-magnetite quartzites	27	12,7	7,2
2	magnetite quartzites	24	12,3	7,1
3	cummingtonite-magnetite quartzites	21	11,8	6,9
4	magnetite-cummingtonite quartzites	18	11,4	6,7

Notes: n – number of definitions; x is the average value of the indicators; S_x – standard deviation.

Table 6

Morphological characteristics of quartz from sodium metasomatites of the productive strata of Hannivka deposit

Morphological characteristics of quartz from sodium metasomatites of the productive strata of Kaminka deposit				
№	Mineral varieties of metasomatites, which were formed in	Dihedral angles around triple points $\pm (120^\circ - \alpha)$		
		n	x	S _x
micaceous-hematite-magnetite quartzites				
1	Coarse-crystalline riebeckite-magnetite-aegirine metasomatites	43	6,4	1,7
2	Micaceous-hematite-riebeckite-magnetite quartzites	67	5,3	1,0
3	micaceous-hematite-magnetite quartzites silificate	36	6,1	1,9
magnetite quartzites				
4	Coarse-crystalline riebeckite-magnetite-aegirine metasomatites	43	6,4	1,7
5	Riebeckite-magnetite quartzites	35	4,8	1,1
6	Magnetite quartzites silificate	29	6,3	2,4

From the data of table 5 and table 6 it is clear that metasomatic quartz is characterized by a more significant approximation to the equilibrium shape of crystals. This is likely to be due to a more active effect of alkaline solution on the morphology of quartz in comparison with metamorphogenic one.

The particle size distribution of quartz was determined according to the method described above for the magnetite. 100–150 determinations of the size of quartz crystals were made for each thin rock section. For each mineral variety of

ferruginous quartzites (table 7) and metasomatites (table 8), measurements were fulfilled in transparent thin sections made from material of 27–38 samples.

Recalculating of the obtained data for a more detailed analysis of the variability of the size of quartz crystals in the sections of the ferruginous horizons, similar to that for the magnetite, was made for five granulometric classes of crystals (–0,02; + 0,02–0,05; + 0,05 – 0,1; + 0,1 – 0,2; + 0,2 mm). The results of calculations are shown in fig. 6.

Table 7

Particle size distribution of quartz from the initial nonchanged ferruginous quartzites of the productive strata of Hannivka deposit

№	Mineral varieties	Content (vol. %) of individuals and aggregates of magnetite in size, mm					average	Number of definitions (thin sections)
		less 0,02	0,02–0,05	0,05–0,1	0,1–0,2	more 0,2		
1	micaceous-hematite-magnetite quartzites	36,2	37,9	22,8	2,9	0,2	0,039	26
2	magnetite quartzites	30,1	40,8	24,8	3,9	0,4	0,042	27
3	cummingtonite-magnetite quartzites	28,4	41,5	25,3	4,3	0,5	0,043	24
4	magnetite-cummingtonite quartzites	25,3	42,2	26,5	4,8	1,2	0,046	21

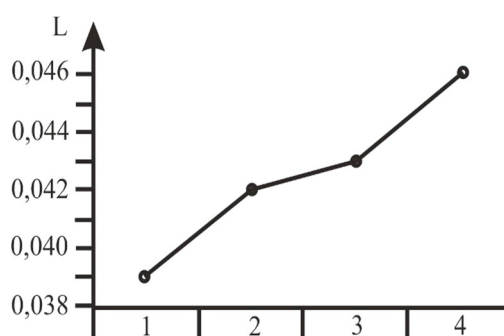


Fig. 6. Change in the average size of quartz crystals (L, mm) by mineral varieties of ferruginous quartzites in the fifth ferruginous horizon:

mineral varieties of quartzites are as follows: 1 – micaceous-hematite-magnetite; 2 – magnetite; 3 – cummingtonite-magnetite; 4 – magnetite-cummingtonite

According to the data obtained, the number of the smallest crystals of metamorphogenic quartz (to 0,02 mm) is noticeably reduced in the direction from the center to the periphery of the ferruginous horizons. In the same direction, the number of its individuals of other granulometric classes (more than 0,02 mm) increases. This can be explained by the manifestation of quartz accumulating recrystallization, which accompanied bimetasomatic cummingtonization of ferruginous quartzites in the contact zones of the ferruginous horizons.

The reverse tendency is typical for quartz from metasomatic zones: the number of the smallest individuals

(granulometric fractions up to 0,02 and 0,02–0,05 mm) increases in the direction from the central zone of aegirization to the peripheral zone of silification. The number of larger individuals (more than 0,05 mm in size) decreases in this direction. This can also be explained by the fact that along with replacement of quartz with the newly-formed minerals (aegirine, riebeckite) in alkaline medium of metasomatic solution, relict quartz accumulating recrystallization took place, which was accompanied by consolidation of its crystals.

Table 8

Particle size distribution of quartz from sodium metasomatites of the productive strata of Hannivka deposit

Particle size distribution of quartz from sodium metasomatites of the productive strata of Namniva deposit								
№	Mineral varieties of metasomatite bodies, which were formed in	Content (vol.%) of individuals and aggregates of magnetite in size, mm					average	Number of definitions (thin sections)
		less 0,02	0,02–0,05	0,05–0,1	0,1–0,2	more 0,2		
micaceous-hematite-magnetite quartzites								
1	Coarse-crystalline riebeckite-magnetite-aegirine metasomatites	19,4	19,7	39,4	11,2	10,3	0,065	23
2	Micaceous-hematite-riebeckite-magnetite quartzites	21,3	26,4	35,4	8,5	6,4	0,057	29
3	micaceous-hematite-magnetite quartzites silicate	24,9	32,1	34,1	7,4	2,7	0,053	23
magnetite quartzites								
4	Coarse-crystalline riebeckite-magnetite-aegirine metasomatites	20,1	20,7	39,2	10,9	9,1	0,064	24
5	Riebeckite-magnetite quartzites	22,6	23,9	36,6	8,3	4,6	0,056	32
6	Magnetite quartzites silicate	19,2	36,8	35,2	7,2	1,6	0,054	25

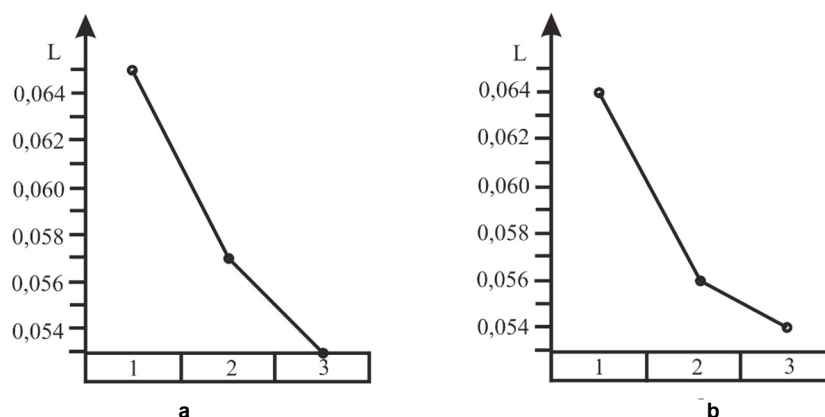


Fig. 7. The change in the average size of quartz crystals (L, mm) in mineralogical zones of bodies of sodium metasomatites, formed in micaceous-hematite-magnetite (a) and magnetite (b) quartzites of the fifth ferruginous horizon:

mineral zones: 1 – zone of aegirine; 2 – zone of riebeckite; 3 – one of silification

The index of idiomorphism of crystals of rock forming minerals (magnetite and quartz) increases in the direction from the central to the peripheral zones of the autigene mineralogical zoning of the productive strata, the size of the magnetite crystals decreases (from 0,062 to 0,053 mm), and that of the quartz increases (from 0,039 to 0,046 mm). The regularity of variability of morphological indices is also typical for bodies of epigenetic formations: rock-forming minerals from intermediate zones, which are composed of riebeckitized varieties of ferruginous quartzites, have the most ideal growth patterns and the maximum sizes of crystals.

Conclusions. Research of the morphological features of magnetite showed that it forms ribbon-shaped, rarely block-shaped, dendrite aggregates in unchanged ferruginous quartzites, depending on its location in the section of the productive strata. In metasomatically changed rocks, an ore mineral forms monomineral aggregates (ribbon-shaped, block-shaped) that are typical for the riebeckitization zones, and those of more complex morphology (dendrite-block-shaped, dendrite) aggregates that are more typical for zones of aegirine and silification of the ferruginous quartzites.

Regularities were also observed when quartz was studied. For unchanged ferruginous quartzites, the change in quartz aggregates from fine-grained with complex boundaries of individuals' growth to medium-grained ones, is typical. Inverse evolution character of morphology of quartz individuals was determined for bodies of sodium metasomatites. Their most perfect polygonal forms are typical for the central metasomatic zones represented by aegirine metasomatites. In the peripheral zones of ferruginous quartzites silification, quartz is represented by fine-grained aggregates of xenomorphic individuals.

The values of dihedral angles at triple points of magnetite aggregates and quartz are closely related to the

morphology of their individuals. The results of studying the angles confirm the conclusions about the variability of morphological features of the main minerals in the productive strata of the deposit.

The results of studying the particle size distribution of magnetite and quartz have shown that for unchanged quartzites, the average size of magnetite and quartz is, accordingly, 0,059 and 0,043 mm, for metasomatically changed ones it is 0,059 and 0,058 mm. The obtained data ought to be used in the compilation of mineralogical recommendations when selecting the methods for preparing ore for beneficiation.

The obtained results are the basis for topomineralogical studies of banded-iron formations of the Kryvyi Rih basin. The results of topomineralogical and technological studies were the basis for compiling mineralogical and technological maps of the deposit and the Northern region in general, which are used for operational and long-term mining planning, in the development of flowsheet for optimal iron ores blending before being sent to beneficiation plants, for constant monitoring of ore mining sections according to their mineralogical and technological parameters. The implementing of these measures will contribute to improving the quality of iron ore concentrate, increasing the concentrate yield and reducing the iron losses in the beneficiation waste.

Список використаних джерел

- Белевцев, Р. Я., Беляев, О. Я., Ветренников, В. В. и др. (1989). Железисто-кремнистые формации докембрия Европейской части СССР. Метаморфизм. Киев: Наукова думка.
- Белевцев, Я. Н., Тохтуев, Г. В., Стрыгин, А. Н. и др. (1962). Геология Криворожских железорудных месторождений. Киев: Изд. АН УССР, т. 1.
- Белевцев, Я. Н., Тохтуев, Г. В., Стрыгин, А. Н. и др. (1962). Геология Криворожских железорудных месторождений. Киев: Изд. АН УССР, т. 2.

Граменицкий, Е. Н., Котельников, А. Р., Батанова, А. М., Щекина, Т. И., Плечов, П. Ю. (2000). Экспериментальная и техническая петрология. Москва: Научный мир.

Дмитриев, Э. В., Черновский, М. И., Евтехов, В. Д. (1983). Структура Анновского месторождения железистых кварцитов. Структуры рудных полей и месторождений железистых кварцитов и богатых железных руд Украинского щита и Воронежского массива. Киев: ИГФМ АН УССР, 23-28.

Домарев, В. С. (1955). Некоторые данные по петрографии и геологии Северного Криворозья. *Петрографический сборник ВСЕГЕИ*, 1, 43-64.

Евтехов, В. Д. (1992). Генетическая и прикладная минералогия натриевых метасоматитов железисто-кремнистых формаций Украинского щита (по природным и экспериментальным данным). Автореф... дис. докт. геол.-минерал. наук: 04.00.20. Львів.

Евтехов, В. Д., Доценко, В. Д. (1979). О магнитных свойствах магнетита Первомайского месторождения Кривбасса. *Материалы научнотехнической конференции Криворозького горнорудного института. Секция геолого-минералогическая*, 46-53.

Евтехов, В. Д., Зарайский, Г. П., Балашов, В. Н., Валеев, О. К. (1979). Зональность натриевых метасоматитов в железистых кварцитах Северного Криворозья. *Очерки физико-химической петрологии*, 15, 17-37.

Евтехов, В. Д., Полтавец, Л. И. (1980). Об особенностях состава и свойств рибекитов Северного Криворозья. *Доклады АН УССР. Серия Б*, 5, 13-15.

Жабин, А. Г. (1979). Онтогенез минералов. Агрегаты. Москва: Наука. Ильницкая, Е. И., Тедер, Р. И., Ватолин, Е. С., Кунтыш, М. Ф. (1969). Свойства горных пород и методы их определения. Москва: Недра.

Карпенко, С. В. (2010). Влияние минералогической зональности продуктивной толли Анновского месторождения на обогатимость руд. *Проблемы недропользования: международный форум-конкурс. Санкт-Петербург*, 34-36.

Павлишин, В. И. (1984). Генетические и прикладные аспекты учения о типоморфизме минералов. *Минералогический журнал*, 5, 16-23.

Павлишин, В. И., Матковский, О. И., Довгий, С. О. (2003). Генезис минералів. Київ: ВПЦ "Київський університет".

Петровская, Н. В., Чухров, Ф. В. (1983). Проблема типоморфизма минералов. Проблемы петрологии, минералогии и рудогенеза. Москва: Наука, 141-147.

Тіхлівець, С. В., Філенко, В. В. (2018). Морфологічні особливості магнетиту продуктивної товщі Північного району Криворізького басейну. *Мінералогічний збірник*, 68, 58-61.

Lepp, H. (1987). Chemistry and origin of Precambrian iron-formations. Athens, 3-30.

Morris, R.C. (1983). Supergene alteration of banded iron-formation. Iron-formations. Facts and problems. Amsterdam e.a., 513-534.

Tikhliets, S., Filenko, V. (2017). Mineralogy of sodium metasomatites of the Pervomayske deposit and their influence on quality of iron ore concentrate. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 4 (79), 53-58.

Reference

Belevtsev, J.N., Beliayev, O.Ya., Vetretnikov, V.V. et al. (1989). Precambrian banded-iron formations in the European part of the USSR. Metamorphism. Kiev: Naukova Dumka. [in Ukrainian]

Belevtzev, Ya.N., Tohtuev, G.V., Strygin, A.N. et al. (1962). Geology of the Kryvyi Rih iron ore deposits. Kyiv.: Academy of Science of the USSR, 2. [in Ukrainian]

Belevtzev, Ya.N., Tohtuev, G.V., Strygin, A.N. et al. (1962). Geology of the Kryvyi Rih iron ore deposits. Kyiv.: Academy of Science of the USSR, 1. [in Ukrainian]

Dmitriev, E.V., Chernovskiy, M.I., Evtekhov, V.D. (1983). Structure of Hanivka deposit of ferruginous quartzites. Structure of ore field and ferruginous quartzites deposits and high-grade iron ores of the Ukrainian Shield and Voronezh massive. Kyiv: IGFM of the Academy of Sciences of the USSR, 23-28. [in Ukrainian]

Domarev, V.S. (1955). Some data on petrography and geology of Northern Kryvyi Rih. *Petrographic collection*, 43-64. [in Ukrainian]

Evtekhov V.D. (1992). Genetic and applied mineralogy of sodium metasomatites in banded-iron formations of the Ukrainian shield (according to natural and experimental data). Extended abstract of Doctor's thesis: 04.00.20. Lviv. [in Russian]

Evtekhov, V.D., Dotsenko, V.D. (1979). About feature of composition and properties of riebeckites of Northern Kryvbas. *Materials of scientific-technical conference of Kryvyi Rih Mining Institute. Geology-mineralogical section*, 46-53. [in Ukrainian]

Evtekhov V.D., Poltavets L.I. (1980). On the features of the composition and properties of riebeckites in Northern Kryvyi Rih. *Reports of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR. Series B*, 5, 13-15. [in Ukrainian]

Evtekhov, V.D. Zaraysky, G.P., Balashov, V.N., Valeyev, O.K. (1988). Zoning of sodium metasomatites in ferruginous quartzites in Northern Kryvyi Rih. *Essays on physical and chemical petrology*, 15, 17-37. [in Russian]

Gramenitskiy, E.H., Kotelnikov, A.R., Batanova, A.M., Shokina, T.I., Plehov P.Yu. (2000). Experimental and technical petrology. Moscow: Scientific World. [in Russian]

Ilitskaya, E.I., Teder, R.I., Vatoлин, E.S., Kuntys, M.Ph. (1969). The properties of rocks and methods for their determination. Moscow: Nedra. [in Russian]

Karpenko, S.V. (2010). Influence of mineralogical zoning of the Annovka deposit productive strata on the ore beneficiation. *Problems of subsoil use: international forum-competition. St. Petersburg*, 34-36. [in Russian]

Lepp, H. (1987). Chemistry and origin of Precambrian iron-formations. Athens, 3-30.

Morris R.C. (1983). Supergene alteration of banded iron-formation. Iron-formations. Facts and problems. Amsterdam e.a., 513-534.

Pavlishin, V.I. (1984). Genetic and applied aspects of studies about tipomorphism of minerals. *Mineralogical journal*, 5, 16-23. [in Ukrainian]

Pavlishin, V.I., Matkovskiy, O.I., Dovgiy, S.O. (2003). Genesis of minerals. Kyiv. [in Ukrainian]

Petrovskaya, N.V., Chuhrov, Ph.V. (1983). Problem of minerals tipomorphism. Issues of petrology, mineralogy and ore genesis. Moscow: Nauka, 141-147. [in Russian]

Tikhliets, S., Filenko, V. (2017). Mineralogy of sodium metasomatites of the Pervomayske deposit and their influence on quality of iron ore concentrate. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 4 (79), 53-58. [in Ukrainian]

Tikhliets, S.V., Filenko, V.V. (2018). Morphological features of magnetite from productive series of Northern region of Kryvyi Rih basin. *Mineralogical collection*, 68, 58-61. [in Ukrainian]

Zhabin, A.G. (1979). Ontogeny of minerals. Aggregates. Moscow: Nauka. [in Russian]

Надійшла до редколегії 15.10.18

С. Тіхлівець, канд. геол. наук, старш. викл.
E-mail: tikhliets.svetlana@gmail.com
Криворізький національний університет
вул. Пушкіна, 37, м. Кривий Ріг, 50002, Україна

МОРФОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ МАГНЕТИТУ ТА КВАРЦУ ПРОДУКТИВНОЇ ТОВЩІ ПІВНІЧНОГО РАЙОНУ КРИВОРІЗЬКОГО БАСЕЙНУ

На сьогоднішній день перед геологічною службою Ганнівського родовища Північного ГЗКу стоїть завдання забезпечення гірничозбагачувальних комбінатів сировиною, яка дозволить отримувати високоякісний залізорудний концентрат, що відповідає вимогам світового ринку. Вирішення цього завдання можливо з урахуванням морфологічних особливостей головних породотвірних мінералів, і як наслідок, природних можливостей руд, збільшення ефективності усереднення руд різних мінеральних різновидів, які мають різний технологічний потенціал, з метою отримання рудної сировини, що подається на збагачувальні фабрики.

Дослідження морфологічних особливостей головних мінералів у незмінених і метасоматично змінених залізистих кварцитах проводились за стандартною методикою. Вимірювання розмірів зерен магнетиту та кварцу проводилось за допомогою окуляр-мікрометра, який встановлюється на мінерографічному мікроскопі. При визначенні їхніх середніх значень використовувались математичні методи.

Наведено результати вивчення морфологічних особливостей головних мінералів залізорудної товщі, їхню варіативність залежно від розташування в межах незмінених і метасоматично змінених залізистих кварцитів Ганнівського родовища Північного району. Показано результати вивчення дігедральних кутів кристалів магнетиту та кварцу, зміна гранулометричного складу цих мінералів залежно від накладених геологічних процесів на залізисто-кременисту формацію Криворізького басейну.

Наукова новизна обумовлена детальним проведенням мінералогічних досліджень морфології магнетиту та кварцу залежно від їхнього розташування в розрізі залізисто-кременистої формації Криворізького басейну, а також у подальшому використанні цих результатів при топографічному картуванні Північного району.

Отримані результати необхідно врахувати при мінералогічному картуванні родовища і Північного району Криворізького басейну загалом, при уточненні мінерально-технологічної класифікації руд і усередненні мінеральних різновидів руд перед подачею на збагачувальні фабрики.

Ключові слова: Український щит, Криворізький басейн, Ганнівське родовище, залізисто-кремениста формація, залізисті кварцити, морфологія магнетиту, морфологія кварцу.

С. Тихливец, канд. геол. наук, ст. препод.
E-mail: tikhlivets.svetlana@gmail.com
Криворожский национальный университет
ул. Пушкина, 37, г. Кривой Рог, 50002, Украина

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МАГНЕТИТА И КВАРЦА ПРОДУКТИВНОЙ ТОЛЩИ СЕВЕРНОГО РАЙОНА КРИВОРОЖСКОГО БАСЕЙНА

На сегодняшний день перед геологической службой Анновского месторождения Северного ГОКа стоит задача обеспечения горнообогатительных комбинатов сырьем, которое позволяет получать высококачественный железорудный концентрат, соответствующий требованиям мирового рынка. Решение этой задачи возможно только с учетом морфологических особенностей главных породообразующих минералов и, как следствие, природных возможностей руд, их обогатительных свойств, повышение эффективности усреднения руд разных минеральных разновидностей, имеющих различный технологический потенциал, с целью получения оптимального состава рудной смеси, подающейся на обогатительные фабрики.

Изучения морфологических особенностей главных минералов в неизмененных и метасоматически измененных железистых кварцитах проводились по стандартной методике. Измерения размеров зерен магнетита и кварца проводилось с помощью окуляр-микрометра, установленного на минералогическом микроскопе. При определении их средних значений использовались математические методы.

Приведены результаты изучения морфологических особенностей минералов железорудной толщи, их вариативность в зависимости от расположения в пределах неизмененных и метасоматически измененных железистых кварцитов Анновского месторождения Северного района. Показаны результаты изучения диэдральных углов кристаллов магнетита и кварца, изменения гранулометрического состава этих минералов в зависимости от наложенных геологических процессов на железисто-кремнистую формацию Криворожского бассейна.

Научная новизна состоит в детальном проведении минералогических исследований магнетита и кварца в зависимости от их расположения в разрезе железисто-кремнистой формации Криворожского бассейна. А также в дальнейшем использовании этих результатов при топоминералогическом картировании Северного района.

Полученные данные по вариативности морфологии главных минералов железорудной толщи необходимо учитывать при минералогическом картировании месторождения и Северного района Криворожского бассейна в целом, а также при уточнении минерально-технологической классификации руд и усреднении минеральных разновидностей руд перед подачей на обогатительные фабрики.

Ключевые слова: Украинский щит, Криворожский бассейн, Анновское месторождение, железисто-кремнистая формация, железистые кварциты, морфология магнетита, морфология кварца.

ГЕОФІЗИКА

УДК 550.8.056

С. Вижва, д-р геол. наук, проф.

E-mail: vsa@univ.net.ua;

В. Онищук, канд. геол. наук

E-mail: vitus16@ukr.net;

І. Онищук, канд. геол. наук, старш. наук. співроб.

E-mail: oivan1@ukr.net;

М. Рева, канд. фіз.-мат. наук, доц.

E-mail: mvreva@gmail.com;

О. Шабатура, канд. геол. наук

E-mail: dard@ukr.net

Київський національний університет імені Тараса Шевченка
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна**ЕЛЕКТРИЧНІ ПАРАМЕТРИ ПОРІД ВЕРХНЬОГО КАРБОНУ РУНОВЩИНСЬКОЇ ПЛОЩІ
ДНІПРОВСЬКО-ДОНЕЦЬКОЇ ЗАПАДИНИ***(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. О. М. Карпенком)**Присвячено вивченню електричних параметрів пісковиків і аргілітів верхнього карбону Рунувщинської площі Дніпровсько-Донецької западини.**Установлено, що значення питомого електричного опору сухих екстрагованих зразків порід (питомий електричний опір мінерального скелета) змінюється від 44,802 кОм·м до 6,115 МОм·м (середнє – 751,328 кОм·м). Електричний опір пісковиків перевищує за цим параметром аргіліти в 3,45 рази, що пов'язано з меншою глинистістю пісковиків.**Питомий електричний опір зразків порід, насичених моделлю пластової води, змінюється від 0,54 Ом·м до 10,46 Ом·м (середнє – 1,23 Ом·м), при цьому опір насичених аргілітів у 2,46 рази вищий, ніж опір насичених пісковиків. Це пов'язано з переважним впливом на електричний опір порід вмісту в них пластової води, якої в пісковиках у зв'язку з їхньою високою пористістю більше.**Лабораторними дослідженнями встановлено, що в атмосферних умовах відносний електричний опір пісковиків змінюється від 6,05 до 33,71 (середнє – 11,8), а аргілітів – від 4,76 до 51,47 (середнє – 17,4).**Виконане фізичне моделювання пластових умов (температура $t = 78,5$ °C; тиск $p = 31\text{--}31,9$ МПа; мінералізація $M = 170$ г/л) показало, що питомий електричний опір порід загалом змінюється від 0,3 Ом·м до 3,0 Ом·м (середнє – 0,75 Ом·м), при цьому для пісковиків він варіює в межах від 0,3 Ом·м до 2,3 Ом·м (середнє – 0,7 Ом·м), а аргілітів – від 0,5 Ом·м до 3,0 Ом·м (середнє – 1,2 Ом·м). У пластових умовах електричний опір аргілітів перевищує опір пісковиків у 1,6 рази. Досліджено залежність питомого опору порід від тиску. Унаслідок закриття мікротріщин і деформації порового простору електричний опір порід зростає зі збільшенням тиску. Регресійний зв'язок коефіцієнта збільшення питомого електричного опору з тиском для досліджених порід виражається поліномами 2-го порядку.**Проведеними дослідженнями визначено відносний електричний опір і пористість порід у пластових умовах. Установлено, що в пластових умовах відносний електричний опір пісковиків змінюється від 5,4 до 63,3 (середнє – 20,3), а відповідний цьому діапазон зміни коефіцієнта пористості становить від 0,038 до 0,175 (середнє – 0,113). Відносний електричний опір аргілітів у пластових умовах варіює в межах від 13,4 до 88,7 (середнє – 34,3), а відповідного коефіцієнта пористості – від 0,043 до 0,115 (середнє – 0,086).**Комплексний аналіз даних лабораторних електрометричних досліджень літологічних різновидів порід дозволив установити кореляційні зв'язки між коефіцієнтом пористості і відносним електричним опором, а також між електричними параметрами порід в атмосферних і пластових умовах і між параметром збільшення електричного опору й коефіцієнтом водонасичення.**Ключові слова: питомий електричний опір, відносний електричний опір, параметр збільшення електричного опору, кореляційні залежності, пісковики, аргіліти.*

Постановка проблеми. У межах Дніпровсько-Донецької западини широко розповсюджені відклади верхнього карбону (Сз), де вони мають важливе газонафтопродуктивне значення. Породи верхнього карбону Рунувщинської площі представлені пісковиками світло-сірими, середньо- й крупнозернистими, олігоміктовими, із глинистим цементом, однорідної нешаруватої текстури із прошарками аргілітів. Пісковики мають середній ступінь цементації та пористості, практично нетріщинуваті. Вони розглядаються як колектори традиційних родовищ нафти і газу, часто пов'язаних з породами верхнього карбону. Останнім часом вивчається питання про можливу наявність нетрадиційних покладів вуглеводнів у глинистих породах (аргілітах, алевролітах) верхнього карбону. Характеристика петрофізичних властивостей порід є одним із важливих засобів оцінки нафтогазового потенціалу перспективних товщ як традиційних, так і нетрадиційних колекторів, що обумовлює актуальність їхнього вивчення.

Аналіз публікацій за темою досліджень. Вивченню фізичних властивостей порід нафтогазоперспективних районів України присвячені ряд публікацій (Вижва та ін., 2010, 2012, 2013, 2014, 2017; Vyzhva, 2017; Карпенко та ін., 2014; Маслов та ін., 2017; Михайлов та ін., 2014; Нестеренко, 2010; Садівник, 2013; Федоришин, 2018 та ін.).

При цьому електричні параметри порід мають важливе значення для оцінки колекторських властивостей порід за даними свердловинних електрометричних досліджень. Слід відзначити, що петрофізичні властивості порід і кореляційні залежності між ними мають досить виражений індивідуальний характер щодо кожної ділянки досліджень. Тому результати дослідження цих властивостей і встановлення відповідних кореляційних зв'язків у межах кожної перспективної площі потребують окремого публічного висвітлення.

Виділення нерозв'язаних раніше частин загальної проблеми. Проблема пошуків і вивчення традиційних і нетрадиційних (сланцевий газ, сланцева нафта, газ ущільнених колекторів та ін.) джерел вуглеводнів на сучасному етапі набуває все більшої актуальності. Для оцінки перспективності на вуглеводні геологічних структур і комплексів, крім економічних і геолого-геометричних параметрів, вмісту органічної речовини і ступеня її термічної переробки, важливе значення мають також петрофізичні властивості гірських порід. Вони використовуються для інтерпретації матеріалів геофізичних досліджень пошуково-розвідвальних свердловин. Слід зазначити, що петрофізичні дослідження до недавнього часу були спрямовані переважно на вивчення порід-

колекторів традиційних джерел нафти і газу. Водночас петрофізичні (зокрема електричні) параметри порід-колекторів нетрадиційних джерел вуглеводнів на сьогодні є мало вивченими або зовсім невивченими. Незважаючи на велику кількість публікацій, для деяких порід-колекторів практично відсутні дані результатів їхніх лабораторних електрометричних досліджень та їхні кореляційні залежності з фільтраційно-ємнісними параметрами.

Мета досліджень. Оцінка електричних параметрів порід традиційних і нетрадиційних джерел вуглеводнів як основи комплексного аналізу їхніх фізичних властивостей (*Вижва та ін., 2010, 2012, 2013, 2014, 2017; Vyzhva, 2017; Михайлов та ін., 2014; Нестеренко, 2010; Садівник, 2013; Федоришин, 2018 та ін.*). Установлення перспективності відкладів на вуглеводні виконується шляхом визначення електричних та ємнісно-фільтраційних властивостей окремих типів і груп порід і встановлення кореляційних зв'язків між ними. Матеріали, отримані в результаті лабораторних досліджень зміни питомого електричного опору порід, використовуються для інтерпретації результатів електрометричних методів досліджень свердловин і польової електророзвідки.

Експериментальні дослідження. Виконаний комплекс петрофізичних досліджень у НДП "Теоретичної і прикладної геофізики" ННІ "Інститут геології" КНУ імені Тараса Шевченка включав визначення: густини порід (сухих і насичених розчином NaCl); відкритої пористості (методами насичення азотом і розчином NaCl); проникності (методом стаціонарної фільтрації азоту); коефіцієнта залишкового водонасичення (методом центрифугування); питомого електричного опору (сухих зразків і насичених розчином NaCl); швидкості пружних хвиль (сухих зразків і насичених розчином NaCl), питомої альфа- та бета-активності. Проведено також петрографічний макро- та мікро-опис досліджених порід.

У даній статті наведено результати комплексних досліджень електричних властивостей колекції із 135 зразків порід верхнього карбону свердловини 110 Руновщинської площі ДДЗ (інтервали: 3145–3164,5 м, 3217–3229,7 м, 3260–3284 м та 3313–3315 м).

Літологічна характеристика порід. Досліджувані породи верхнього карбону представлені пісковиками світло-сірими, середньо- та крупнозернистими, олігоміковими, із глинистим безкарбонатним цементом і вкрапленою вуглефікацією. Пісковики мають однорідну нешарувату текстуру із прошарками аргілітів і пісковиків, що містять гравійний матеріал. Для них характерні середній ступінь цементації й пористості. У середній частині інтервалу досліджень пісковики мають смугасто-шарувату текстуру за рахунок збагачення слюдистими та глинистими мінералами. В інтервалі глибин 3158–3164 м у розрізі присутні міцно зцементовані темно-коричневі та коричнево-сірі аргіліти, безкарбонатні, слабкослюдисті, непористі, несланцюваті або слабосланцюваті. Інтервал глибин 3217–3229,7 м представлений пісковиками світло-сірими, середньозернистими до крупнозернистих, пористими, місцями гідрофобними із запахом вуглеводнів, переважно олігоміковими з точковою вуглефікацією, із глинистим безкарбонатним, місцями слабкокарбонатним цементом. Породи середнього ступеня цементації, текстури нешаруваті, однорідні та лінозоподібно-смугасто-шаруваті, зумовлені присутністю ліній і прошарків, збагачених глинистим і слюдистим матеріалом, іноді органічною речовиною. У нижній частині інтервалу (із глибини близько 3227 м) породи представлені горизонтальними аргілітами сірих і строкатоколірних мікрослюдистих, міцно зцементованих, непористих, нешаруватих, несланцюватих (*Вижва та ін., 2017*).

В інтервалі глибин 3262,5–3263,5 м присутні пісковики світло-сірі зі слабким зеленуватим і жовтуватим

відтінком, крупно- й середньозернисті із прошарками гравелітів і дрібногалькових конгломератів, переважно олігомікові, пористі, часто гідрофобні із запахом вуглеводнів, з однорідною нешаруватою текстурою, пластами з лінозоподібно-смугасто-шаруватою текстурою за рахунок збагачення окремих прошарків слюдисто-глинистим матеріалом і тонкими короткими прожилками бітумоїдів. У нижній частині інтервалу 3260–3284 м наявні сірі аргіліти. В інтервалі глибин 3314–3315 м присутні пісковики середньозернисті, світло-сірі з легким жовтуватим відтінком, нешаруватої та смугастої текстури, середнього ступеня цементації, безкарбонатні, пористі (*Вижва та ін., 2017*).

Методика електрометричних досліджень. Лабораторні електрометричні вимірювання сухих зразків керна виконано за температури 20 °C цифровим тераометром С.А 6547, який дозволяє виконувати високоточні вимірювання електричного опору на постійному струмі за двоелектродною схемою в діапазоні від 10 кОм до 10 ТОм із цифровим записом результатів вимірювань на ЕОМ за спеціальною програмою (*Вижва та ін., 2010, 2012, 2013, 2014, 2017; Vyzhva, 2017*). Для вимірювання зразків, насичених моделлю пластової води (розчин NaCl, мінералізація 170 г/л), застосовувався RCL-метр МНС-1100. Циліндричні зразки під час вимірювання розташовувались у спеціальному кернотримачі з електродами, що не поляризуються.

З метою визначення залежності петрофізичних параметрів від водонасичення порід, а отже, й їхнього газонафтонасичення, досліджено зміни питомого електричного опору за різного ступеня відгонки води на центрифугі ОС-6М. У процесі центрифугування виконувалася серія вимірювань електричного опору зразків, насичених моделлю пластової води – до центрифугування та після центрифугування за режимів відгонки від 1000 до 6000 об/хв із кроком 1000 об/хв і відповідною зміною тиску витіснення води від 0,2 до 1,0 МПа (7 циклів вимірювань). Паралельно визначалися коефіцієнт водонасичення та швидкість пружних хвиль.

Для встановлення кореляційного зв'язку між електричними параметрами порід в атмосферних і пластових умовах виконано комплекс петрофізичних досліджень з фізичним моделюванням пластових умов (температура $t = 78,5$ °C; тиск $p = 31$ – $31,9$ МПа; мінералізація $M = 170$ г/л).

Середня відносна похибка визначення електричного опору порід у межах виконаних досліджень становила 2,3 %.

Аналіз даних лабораторних досліджень. У результаті виконаних лабораторних електрометричних досліджень визначено електричні параметри основних типів порід-колекторів верхнього карбону Руновщинської площі. Відомості про межі змін і середні значення пористості порід, залежно від їхнього віку, літології та приуроченості до виділених перспективних нафтоносних інтервалів горизонтів Г-6, Г-7в, Г-7н, наведено в табл. 1.

За результатами лабораторних вимірювань в атмосферних умовах встановлено, що питомий електричний опір сухих екстрагованих зразків (питомий електричний опір мінерального скелета) змінюється від 44,802 кОм·м до 6,115 МОм·м за середнього значення 751,328 кОм·м. Сухі пісковики мають діапазон зміни питомого електричного опору від 139,242 кОм·м до 6,115 МОм·м (середнє значення 854,659 кОм·м), а сухі аргіліти – від 44,802 кОм·м до 1,749 МОм·м (середнє значення 247,794 кОм·м). Середнє значення електричного опору пісковиків перевищує за цим параметром аргіліти в 3,45 рази, що пов'язано з більш високою глинистістю аргілітів. При цьому спостерігаються значні варіації питомого опору зразків, зумовлені неоднорідністю в їхній текстурі (наявністю глинистих і піщаних прошарків та їхньою неупорядкованістю).

Таблиця 1

Межі змін і середні значення електричних параметрів порід верхнього карбону Руновщинської площі

	Вибірки	Значення параметра	Атмосферні умови			Пластові умови	
			питомий електричний опір сухих порід, Ом·м	питомий електричний опір порід, насичених розчином NaCl, Ом·м	відносний електричний опір, P	питомий електричний опір порід, насичених розчином NaCl, Ом·м	відносний електричний опір, P _{пл}
1	верхній карбон C ₃	мін.	47225	0,54	4,76	0,3	5,4
		макс.	6115323	10,46	51,47	3,0	88,7
		сер.	816798	1,1	12,6	0,75	20,9
2	аргіліт	мін.	44802	0,79	4,76	0,5	13,4
		макс.	1748655	10,46	51,47	3,0	88,7
		сер.	247794	2,58	17,4	1,2	34,3
3	пісковик	мін.	139242	0,54	6,05	0,3	5,4
		макс.	6115323	2,99	33,71	2,3	63,3
		сер.	854659	1,05	11,8	0,7	20,3
4	перспективний нафтоносний інтервал, горизонт Г-6, (гл. 3137,9–3160,0 м)	мін.	139242	0,71	8,0	0,38	10,8
		макс.	851574	2,99	33,7	2,28	63,3
		сер.	312048	1,37	15,5	1,05	28,9
5	перспективний нафтоносний інтервал, горизонт Г-7в, (гл. 3209,1–3232,5 м)	мін.	241153	0,54	6,1	0,31	5,4
		макс.	2895045	2,59	29,2	2,09	58,8
		сер.	944082	1,03	11,6	0,69	19,0
6	перспективний нафтоносний інтервал, горизонт Г-7н, (гл. 3252,2–3270,9 м)	мін.	187141	0,59	6,7	0,32	7,1
		макс.	6115323	2,32	26,2	2,07	57,6
		сер.	1377050	1,01	11,4	0,68	18,7

Питомий електричний опір зразків порід, насичених моделлю пластової рідини (розчин NaCl), змінюється від 0,54 Ом·м до 10,46 Ом·м за середнього значення 1,23 Ом·м. Насичені пісковики мають діапазон зміни питомого електричного опору від 0,54 Ом·м до 2,99 Ом·м, за середнього значення – 1,05 Ом·м, а насичені аргіліти – від 0,79 Ом·м до 10,46 Ом·м за середнього значення 2,58 Ом·м. Середнє значення електричного опору аргілітів перевищує аналогічний показник пісковиків у 2,46 рази. Це пояснюється переважним впливом на електричну провідність порід присутньої в їхніх порах пластової води (розчину NaCl), якої у пісковиках більше у зв'язку з їхньою підвищеною пористістю.

У результаті лабораторних електрометричних досліджень визначено також відносний електричний опір порід – відношення питомого опору повністю насиченої породи до питомого опору насичувального розчину (Дахнов, 1975; Туаб і Доналдсон, 2009). Аналіз отриманих даних дозволив установити, що відносний електричний опір пісковиків змінюється від 6,05 до 33,71 за середнього значення 11,8. Відповідний цьому діапазон зміни

коефіцієнта пористості – від 0,058 до 0,19 за середнього значення 0,129. Відносний електричний опір аргілітів змінюється у межах від 4,76 до 51,47 (середнє значення 17,4), а коефіцієнт пористості – від 0,052 до 0,127 (середнє значення 0,1).

За матеріалами виконаних лабораторних досліджень побудовано кореляційні залежності між коефіцієнтом пористості (k_n) і відносним електричним опором (P) виду $P = a \cdot k_n^{-m}$, де a – постійний коефіцієнт, m – структурний показник (рівняння Арчі – Дахнова, (Дахнов, 1975; Туаб і Доналдсон, 2009)) для пісковиків (рис. 1) та аргілітів (рис. 2). Відносний електричний опір являє собою відношення питомого опору повністю водонасичених порід ($\rho_{пв}$) до питомого опору пластової води ($\rho_{в}$): $P = \rho_{пв} / \rho_{в}$.

Для пісковиків Руновщинської площі коефіцієнт $a = 0,6023$, а структурний показник $m = 1,39$. Аргіліти, порівняно з пісковиками, за значеннями цих параметрів помітно відрізняються: коефіцієнт $a = 0,2224$, а структурний показник $m = 1,81$.

Визначено та побудовано також кореляційні залежності Арчі – Дахнова для виділених перспективних нафтоносних інтервалів горизонтів Г-6, Г-7в, Г-7н (рис. 3–5).

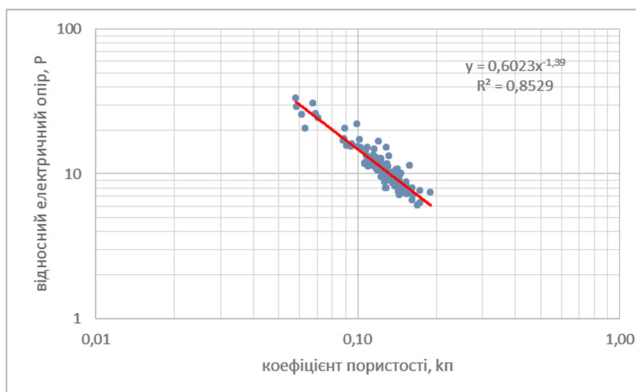


Рис. 1. Кореляційна залежність між коефіцієнтом пористості (k_n) та відносним електричним опором (P) пісковиків: $P = 0,6023 \cdot k_n^{-1,39}$, $R^2 = 0,853$

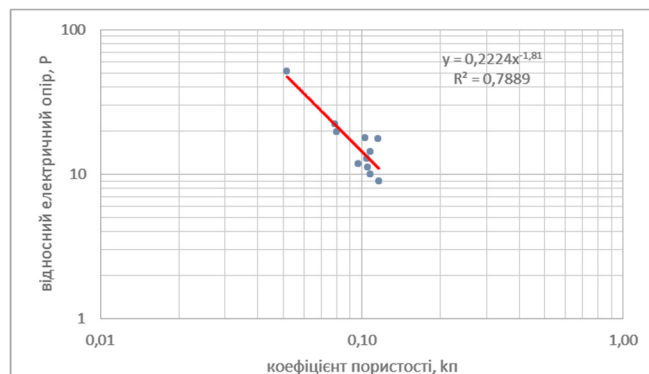


Рис. 2. Кореляційна залежність між коефіцієнтом пористості (k_n) та відносним електричним опором аргілітів (P): $P = 0,2224 \cdot k_n^{-1,81}$, $R^2 = 0,789$

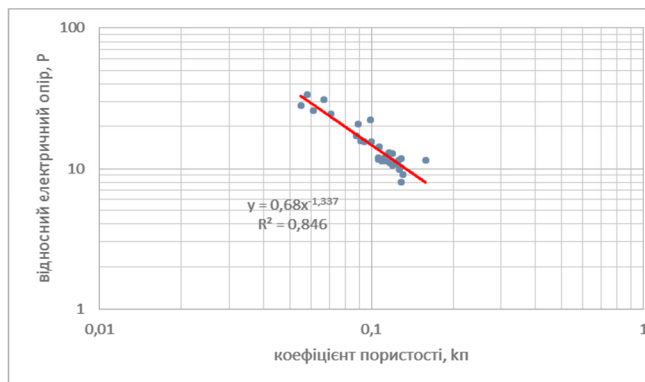


Рис. 3. Кореляційна залежність між коефіцієнтом пористості (k_n) та відносним електричним опором (P) порід горизонту Г-6: $P = 0,68 \cdot k_n^{-1,337}$, $R^2 = 0,846$

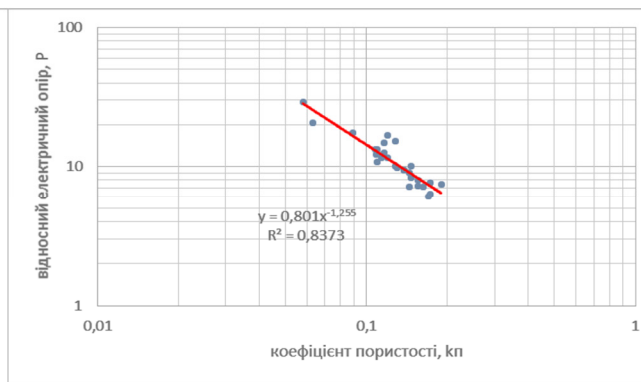


Рис. 4. Кореляційна залежність між коефіцієнтом пористості (k_n) та відносним електричним опором (P) порід горизонту Г-7в: $P = 0,801 \cdot k_n^{-1,255}$, $R^2 = 0,837$

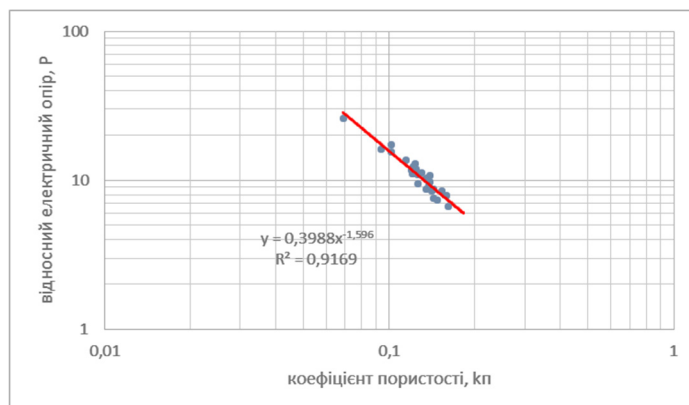


Рис. 5. Кореляційна залежність між коефіцієнтом пористості (k_n) та відносним електричним опором (P) для порід горизонту Г-7н: $P = 0,3988 \cdot k_n^{-1,596}$, $R^2 = 0,917$

Аналіз наведених даних свідчить, що для пісковиків перспективних нафтоносних інтервалів свердловини 110 коефіцієнт a в рівнянні Арчі – Дахнова змінюється від 0,3988 (горизонт Г-7н) до 0,801 (горизонт Г-7в), а структурний показник m , відповідно, від 1,596 до 1,255.

З метою оцінки питомого та відносного електричного опору порід у пластових умовах виконано комплексні дослідження на спеціальній установці високого тиску ВСЦ-1000 при зміні тиску від атмосферного до 35 МПа. Вимірювання виконувались на зразках, насичених розчином NaCl. Межі змін і середні значення питомого й відносного електричного опору порід у пластових умовах, залежно від їхніх літологічних різновидів і віку, наведено в табл. 1. За результатами лабораторних електрометричних вимірювань під час фізичного моделювання пластових умов установлено, що питомий електричний опір порід змінюється від 0,3 до 3,0 Ом·м за середнього значення 0,75 Ом·м. При цьому питомий електричний опір пісковиків має діапазон зміни від 0,3 до 2,3 Ом·м за середнього значення 0,7 Ом·м, а аргілітів – від 0,5 до 3,0 Ом·м за середнього значення 1,2 Ом·м. Середнє значення електричного опору аргілітів перевищує в 1,6 рази цей показник для пісковиків.

У результаті аналізу отриманих даних установлено, що внаслідок закриття мікротріщин і деформації порового простору електричний опір порід зростає зі збільшенням тиску. Залежність коефіцієнта збільшення питомого електричного опору (Q) від тиску (p) для досліджених порід виражається поліномами 2-го порядку: $Q = n \cdot p^2 + m \cdot p + c$, де n , m і c – коефіцієнти рівняння.

За допомогою виконаних досліджень визначено відносний електричний опір порід у пластових умовах. Аналіз

отриманих даних дозволив установити, що відносний електричний опір пісковиків у пластових умовах змінюється в діапазоні від 5,4 до 63,3 при середньому значенні 20,3, а відповідний цьому діапазон зміни коефіцієнта пористості становить від 0,038 до 0,175 при середньому значенні 0,113. Для аргілітів діапазон зміни відносного електричного опору в пластових умовах становить від 13,4 до 88,7 при середньому значенні 34,3, а коефіцієнта пористості – від 0,043 до 0,115 при середньому значенні 0,086.

Комплексний аналіз даних лабораторних електрометричних досліджень дозволив отримати для пісків і аргілітів низку кореляційних зв'язків – між питомим електричним опором в атмосферних і пластових умовах (рис. 6, 7), між відносним електричним опором в атмосферних і пластових умовах (рис. 8, 9) та між коефіцієнтом пористості ($k_{n,пл}$) й відносним електричним опором ($P_{пл}$) у пластових умовах (рис. 10, 11).

У пластових умовах для досліджених пісковиків і аргілітів отримано рівняння Арчі – Дахнова, які мають такий вигляд:

- для пісковиків $-P = 0,3418 \cdot k_n^{-1,802}$;
- для аргілітів $-P = 0,4719 \cdot k_n^{-1,665}$.

У результаті досліджень, виконаних у змодельованих пластових умовах, установлено також кореляційні зв'язки між коефіцієнтом пористості ($k_{n,пл}$) й відносним електричним опором ($P_{пл}$) пісковиків перспективних нафтоносних інтервалів горизонтів Г-6, Г-7в, Г-7н (рис. 12–14).

Аналіз наведених даних свідчить, що у пластових умовах для пісковиків перспективних нафтоносних інтервалів коефіцієнт a рівняння Арчі – Дахнова змінюється від 0,1842 (горизонт Г-7в) до 0,5597 (горизонт Г-6), а структурний показник m , відповідно, від 2,093 до 1,602.

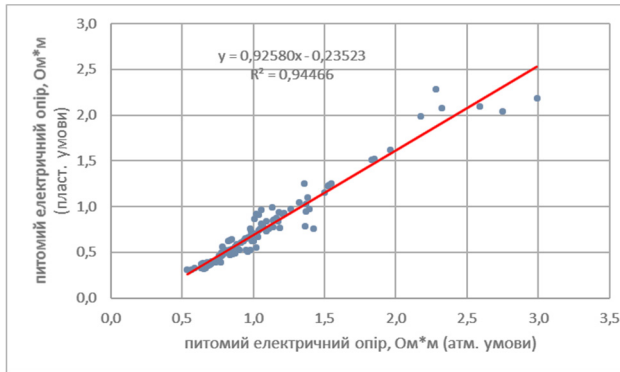


Рис. 6. Кореляційна залежність між питомим електричним опором пісковиків в атмосферних (ρ) і пластових ($\rho_{пл}$) умовах: $\rho_{пл} = 0,9258\rho - 0,23523$, $R^2 = 0,945$

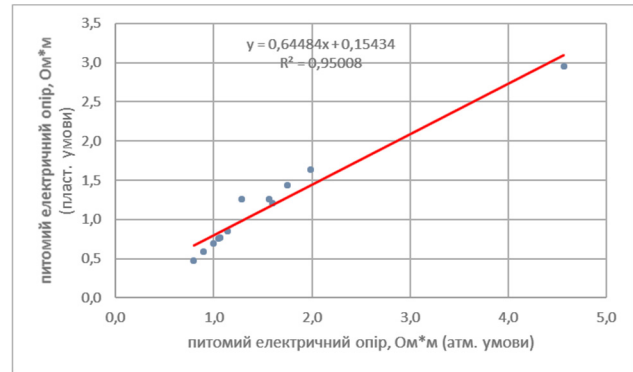


Рис. 7. Кореляційна залежність між питомим електричним опором аргілітів в атмосферних (ρ) і пластових ($\rho_{пл}$) умовах: $\rho_{пл} = 0,64484\rho + 0,15434$, $R^2 = 0,95$

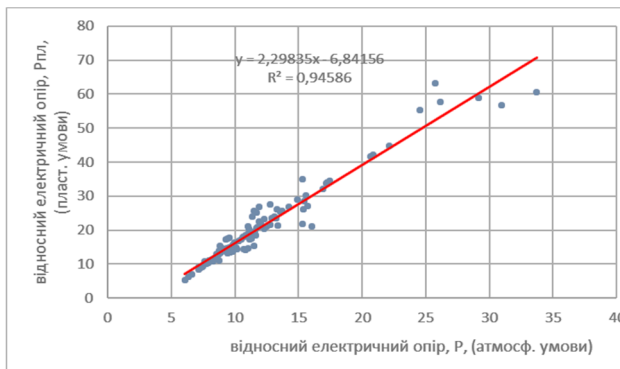


Рис. 8. Кореляційна залежність між відносним електричним опором пісковиків в атмосферних (P) і пластових ($P_{пл}$) умовах: $P_{пл} = 2,29835P - 6,84156$, $R^2 = 0,946$

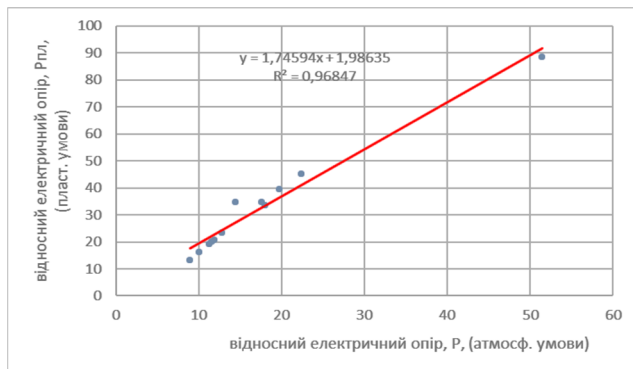


Рис. 9. Кореляційна залежність між відносним електричним опором аргілітів в атмосферних (P) і пластових ($P_{пл}$) умовах: $P_{пл} = 1,74594P + 1,98635$, $R^2 = 0,968$

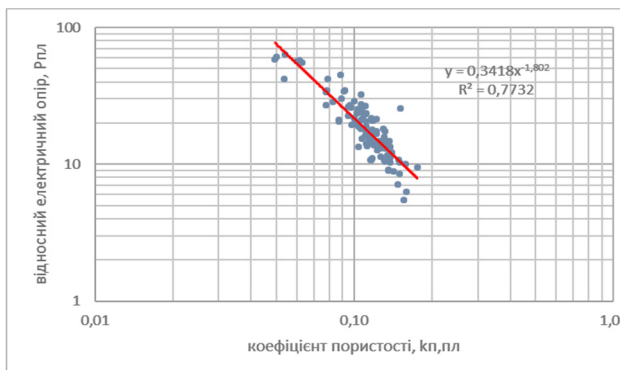


Рис. 10. Кореляційна залежність між коефіцієнтом пористості ($k_{пл}$) й відносним електричним опором ($P_{пл}$) пісковиків (пластові умови): $P_{пл} = 0,3418 \cdot k_{пл}^{-1,802}$, $R^2 = 0,773$

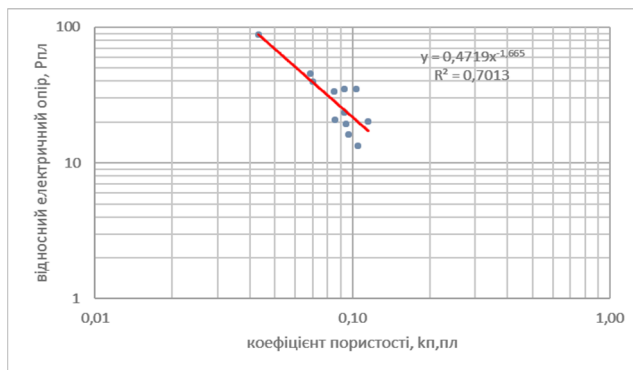


Рис. 11. Кореляційна залежність між коефіцієнтом пористості ($k_{пл}$) й відносним електричним опором ($P_{пл}$) аргілітів (пластові умови): $P_{пл} = 0,4719 \cdot k_{пл}^{-1,665}$, $R^2 = 0,701$

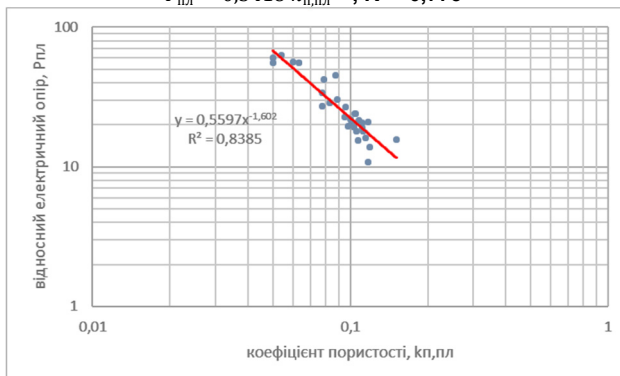


Рис. 12. Кореляційна залежність між коефіцієнтом пористості ($k_{пл}$) і відносним електричним опором ($P_{пл}$) пісковиків горизонту Г-6 (пластові умови): $P_{пл} = 0,5597 \cdot k_{пл}^{-1,602}$, $R^2 = 0,839$

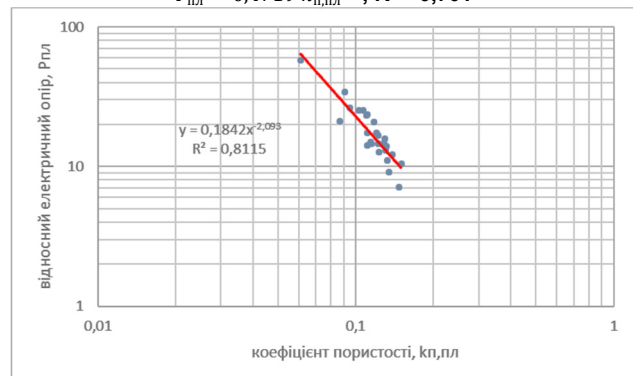


Рис. 13. Кореляційна залежність між коефіцієнтом пористості ($k_{пл}$) та відносним електричним опором ($P_{пл}$) пісковиків горизонту Г-7в (пластові умови): $P_{пл} = 0,1842 \cdot k_{пл}^{-2,093}$, $R^2 = 0,812$

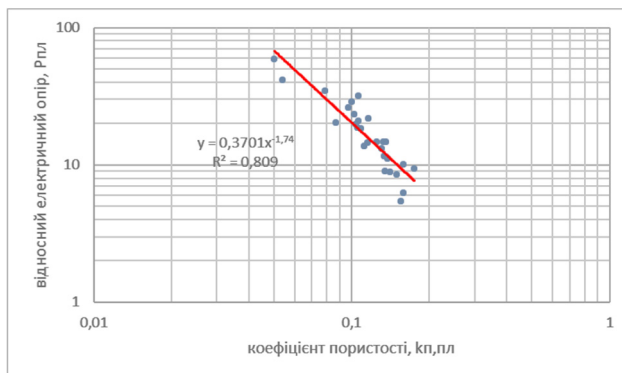


Рис. 14. Кореляційна залежність між коефіцієнтом пористості ($k_{n,пл}$) та відносним електричним опором ($P_{пл}$) пісковиків горизонту Г-7н (пластові умови): $P_{пл} = 0,3701 \cdot k_{n,пл}^{-1,74}$, $R^2 = 0,809$

Важливою інформаційною характеристикою при петрофізичних дослідженнях гірських порід є параметр збільшення електричного опору (P_H), який являє собою відношення питомого опору частково (не повністю) водонасичених порід ($\rho_{нв}$) до питомого опору повністю водонасичених порід ($\rho_{пв}$): $P_H = \rho_{нв} / \rho_{пв}$. У процесі експериментальних лабораторних досліджень на центрифугі ОС-6М та статистичного аналізу даних електрометричних вимірювань для різних літологічних утворень Руновщинської площі були отримані кореляційні залежності параметра P_H від коефіцієнта водонасичення (k_B), які мають вид: (рис. 15–20).

Аналіз наведених даних свідчить, що для досліджених порід верхнього карбону коефіцієнт b у кореляційному рівнянні $P_H = b \cdot k_B^{-n}$, що виражає зв'язок між коефіцієнтом водонасичення і параметром збільшення електричного опору, змінюється від 1,1499 (аргіліт) до 1,4132 (пісковик крупнозернистий), а показник змочуваності n – від 0,713 (аргіліт) до 1,771 (пісковик середньозернистий). Для перспективних нафтоносних інтервалів b змінюється від 1,1972 (горизонт Г-6) до 1,5277 (горизонт Г-7в), а показник змочуваності n – від 1,275 (горизонт Г-7в) до 2,06 (горизонт Г-6).

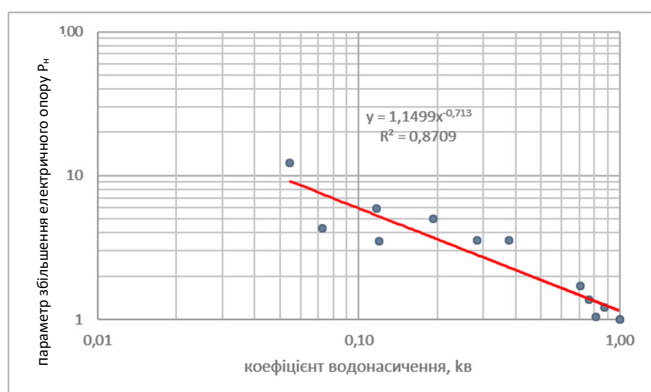


Рис. 15. Кореляційна залежність між параметром збільшення електричного опору (P_H) та коефіцієнтом водонасичення (k_B). Аргіліт.

$$P_H = 1,1499 \cdot k_B^{-0,713}, R^2 = 0,871$$

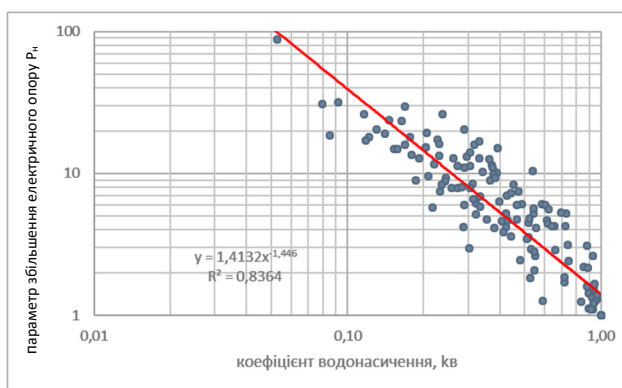


Рис. 16. Кореляційна залежність між параметром збільшення електричного опору (P_H) та коефіцієнтом водонасичення (k_B). Пісковик крупнозернистий.

$$P_H = 1,4132 \cdot k_B^{-1,446}, R^2 = 0,836$$

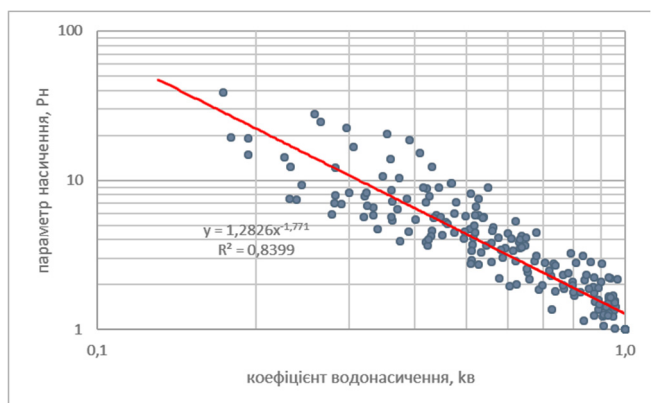


Рис. 17. Кореляційна залежність між параметром збільшення електричного опору (P_H) та коефіцієнтом водонасичення (k_B). Пісковик середньозернистий.

$$P_H = 1,2826 \cdot k_B^{-1,771}, R^2 = 0,84$$

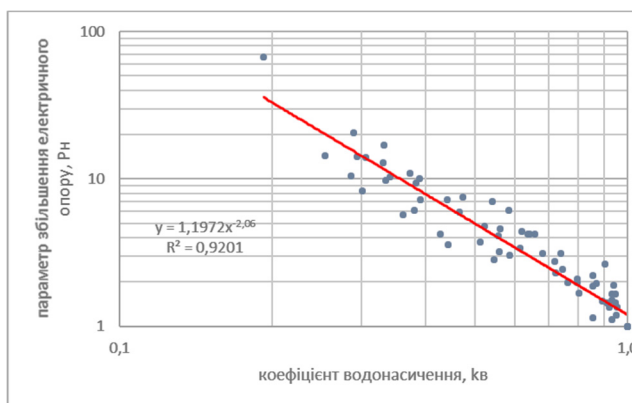


Рис. 18. Кореляційна залежність між параметром збільшення електричного опору (P_H) та коефіцієнтом водонасичення (k_B). Горизонт Г-6.

$$P_H = 1,1972 \cdot k_B^{-2,06}, R^2 = 0,92$$

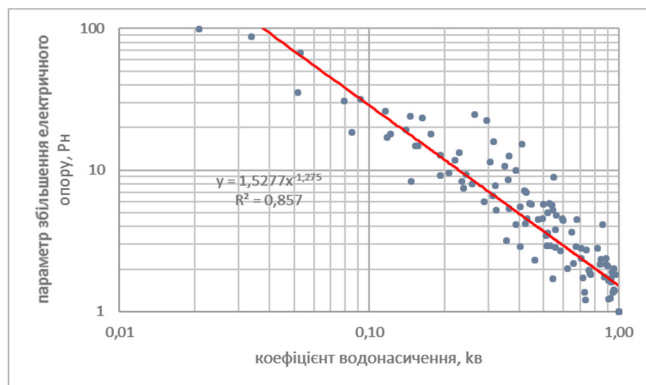


Рис. 19. Кореляційна залежність між параметром збільшення електричного опору (P_H) та коефіцієнтом водонасичення (k_B). Горизонт Г-7в.

$$P_H = 1,5277 \cdot k_B^{-1,275}, R^2 = 0,857$$

Слід зазначити, що пісковики із перспективних нафтоносних інтервалів Г-7в і Г-7н мають близькі за середніми значеннями електричні параметри (див. табл. 1). Водночас пісковики із перспективного інтервалу Г-6, порівняно з породами інтервалів Г-7в та Г-7н, характеризуються зниженим середнім електричним опором у сухому стані й підвищеними середніми показниками електричних параметрів у насиченому стані (табл. 1). Це свідчить про підвищену глинистість пісковиків інтервалу Г-6, а отже, і знижені їхні фільтраційно-ємнісні параметри.

Висновки. Відклади верхнього карбону представлені пісковиками світло-сірими, середньо- і крупнозернистими, олігоміковими, із глинистим безкарбонатним цементом і вкрапленою вуглефікацією. Вони мають однорідну нешарувату текстуру, ускладнену присутністю прошарків аргілітів і пісковиків з гравійним матеріалом. Пісковики мають середній ступінь цементації, пористі, нетріщинуваті. В інтервалі глибин 3158–3164 м розріз представлений міцно зцементованими аргілітами темно-коричневого кольору із строкатим коричнево-сірим забарвленням. В їхньому складі відсутній карбонат і майже відсутня слюда. Аргіліти несланцюваті або слабкосланцюваті. В інтервалі глибин 3217–3229,7 м залягають пісковики світло-сірі, середньозернисті до крупнозернистих та гравелистих, пористі, шарами гідрофобні із запахом вуглеводнів.

У результаті лабораторних електрометричних вимірювань в атмосферних умовах установлено, що значення питомого електричного опору сухих екстрагованих зразків порід (питомий електричний опір мінерального скелета) змінюється від 44,802 кОм·м до 6,115 МОм·м (середнє значення 751,328 кОм·м). Сухі пісковики мають діапазон зміни питомого електричного опору від 139,242 кОм·м до 6,115 МОм·м (середнє 854,659 кОм·м), а сухі аргіліти – від 44,802 кОм·м до 1,749 МОм·м (середнє 247,794 кОм·м). Середнє значення електричного опору пісковиків перевищує за цим параметром аргіліти в 3,45 рази, що пов'язано з різною глинистістю досліджених порід. При цьому спостерігаються значні варіації питомого опору зразків, що пояснюється неоднорідностями в тектурі порід (наявністю глинистих і піщанистих прошарків та їхньою неупорядкованістю).

Питомий електричний опір зразків порід, насичених моделлю пластової рідини (розчин NaCl), змінюється від 0,54 до 10,46 Ом·м (середнє – 1,23 Ом·м). Насичені пісковики мають діапазон зміни питомого електричного опору від 0,54 до 2,99 Ом·м (середнє значення – 1,05 Ом·м), а насичені аргіліти – від 0,79 до 10,46 Ом·м (середнє – 2,58 Ом·м). Середнє значення електричного опору аргілітів перевищує за цим параметром пісковики

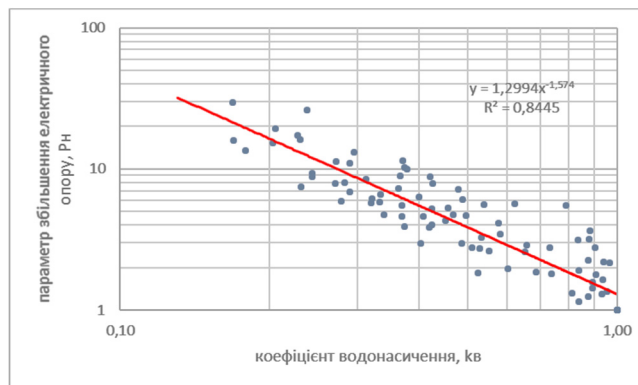


Рис. 20. Кореляційна залежність між параметром збільшення електричного опору (P_H) та коефіцієнтом водонасичення (k_B). Горизонт Г-7н.

$$P_H = 1,2994 \cdot k_B^{-1,574}, R^2 = 0,845$$

у 2,46 рази. Це пояснюється переважним впливом на провідність порід вмісту у них пластової води, якої у пісковиках, у зв'язку з їхньою підвищеною порівняно з аргілітами пористістю, більше.

Визначено відносний електричний опір досліджених порід в атмосферних умовах. Отримані дані показали, що відносний електричний опір пісковиків варіює в межах від 6,05 до 33,71 (середнє – 11,8). Відповідний цим показникам діапазон зміни коефіцієнта пористості становить від 0,058 до 0,19 (середнє – 0,129). Відносний електричний опір аргілітів змінюється в межах від 4,76 до 51,47 за середнього значення 17,4, а коефіцієнта пористості – від 0,052 до 0,127 за середнього значення 0,1.

За результатами лабораторних електрометричних вимірювань, виконаних під час фізичного моделювання пластових умов, установлено, що у пластових умовах питомий електричний опір порід змінюється від 0,3 до 3,0 Ом·м (середнє – 0,75 Ом·м). Пісковики у пластових умовах мають діапазон зміни питомого електричного опору від 0,3 до 2,3 Ом·м (середнє – 0,7 Ом·м), а аргіліти – від 0,5 до 3,0 Ом·м (середнє – 1,2 Ом·м). Середнє значення електричного опору аргілітів перевищує середній показник цього параметра для пісковиків в 1,6 рази.

Вимірювання питомого опору порід за різних тисків показали, що внаслідок закриття мікротріщин і деформації порового простору електричний опір порід зростає зі збільшенням тиску, при цьому залежність коефіцієнта збільшення питомого електричного опору від тиску для досліджених порід виражається поліномами 2-го порядку.

Дослідженнями відносного електричного опору порід у пластових умовах установлено, що цей параметр змінюється від 5,4 до 63,3 за середнього значення 20,3. Відповідний цьому діапазон зміни коефіцієнта пористості становить від 0,038 до 0,175 за середнього значення 0,113. Відносний електричний опір аргілітів у пластових умовах варіює від 13,4 до 88,7 за середнього значення 34,3, а відповідні цим змінам відносного опору варіації коефіцієнта пористості перебувають у межах від 0,043 до 0,115 за середнього значення 0,086.

Пісковики перспективних нафтоносних інтервалів Г-7в і Г-7н характеризуються близькими за середніми значеннями електричними параметрами. Пісковики перспективного інтервалу Г-6 порівняно з породами інтервалів Г-7в та Г-7н мають знижений середній електричний опір у сухому стані й підвищені середні електричні параметри в насиченому стані, що пояснюється підвищеною глинистістю пісковиків інтервалу Г-6 і, як наслідок, зниженими їхніми фільтраційно-ємнісними характеристиками.

Комплексний аналіз даних лабораторних електрометричних досліджень дозволив установити для літологічних різновидів досліджених порід-колекторів верхнього карбону Руновщинської площі Дніпровсько-Донецької западини кореляційні зв'язки між коефіцієнтом пористості й відносним електричним опором, а також між електричними параметрами в атмосферних і пластових умовах і між параметром збільшення електричного опору та коефіцієнтом водонасичення.

Список використаних джерел

- Вижва, С. А., Михайлов, В. А., Онищук, Д. І., Онищук, І. І. (2013). Петрофізичні параметри нетрадиційних порід-колекторів Південного нафтогазового регіону. *Геоінформатика*, 3 (47), 1–9.
- Вижва, С. А., Михайлов, В. А., Онищук, Д. І., Онищук, І. І. (2014). Електричні параметри порід-колекторів імпульсних структур. *Вісник Київського національного університету. Геологія*, 65, 31–35.
- Вижва, С. А., Михайлов, В. А., Онищук, Д. І., Онищук, І. І. (2014). Петрофізичні параметри порід, перспективних на сланцевий газ (ділянки східного сектору Дніпровсько-Донецької западини). *Геофизический журнал*, 36, 1, 145–157.
- Вижва, С. А., Онищук, Д. І., Онищук, В. І. (2012). Петроелектрична модель порід-колекторів Західно-Шебелинського газоконденсатного родовища. *Вісник Київського національного університету. Геологія*, 57, 13–16.
- Вижва, С. А., Онищук, І. І. та ін. (2017). Комплексні аналітичні лабораторні дослідження кернів із свердловин Руновщинської ділянки. *Науково-технічний звіт*. Корпорація "Науковий парк Київський університет імені Тараса Шевченка". Київ.
- Вижва, С. А., Рева, М. В., Гожи, А. П., Онищук, В. І., Онищук, І. І. (2010). Петроелектричні дослідження кернів складнопобудованих порід-колекторів. *Вісник Київського національного університету. Геологія*, 50, 4–7.
- Вижва, С. А., Михайлов, В. А., Онищук, І. І. (2017). Петрофізические особенности пород майкопской серии Крымско-Черноморского региона. *Вісник Київського національного університету. Геологія*, 79, 12–20.
- Дахнов, В. Н. (1975). Геофизические методы определения коллекторских свойств и нефтегазоносности пород. М.: Недра.
- Карпенко, О. М., Михайлов, В. А., Карпенко, І. О. (2015). До прогнозу освоєння вуглеводневих ресурсів східної частини ДДЗ. *Вісник Київського національного університету. Геологія*, 68, 49–54.
- Маслов, Б. П., Онищук, І. І., Шинкаренко, А. В. (2017). Моделювання нелінійних в'язко-пружних властивостей терригенно-вапняковистих пісковиків. *Вісник Київського національного університету. Геологія*, 77, 99–105.
- Михайлов, В. А., Вижва, С. А., Загнітко, В. М. та ін. (2014). Нетрадиційні джерела вуглеводнів України. Східний нафтогазоносний регіон: аналітичні дослідження. Книга IV. Київ: ВПЦ "Київський університет".
- Михайлов, В. А., Куровець, І. М., Синьковський, Ю. Н. та ін. (2014). Нетрадиційні джерела вуглеводнів України. Південний нафтогазоносний регіон. Книга III. Київ: ВПЦ "Київський університет".
- Нестеренко, М. Ю. (2010). *Петрофізичні основи обґрунтування флюїдоносності порід-колекторів*. Київ: УкрДГРІ.
- Садівник, М. І., Федоришин, Д. Д., Трубенко, С. Д., Федоришин, С. Д. (2013). Вплив пластового тиску на електричні параметри гірських порід. *XII Міжнародна конференція "Геоінформатика: теоретичні та прикладні аспекти"*, Київ, Україна. Електронна публікація.
- Тіаб Д., Дональдсон, Э. Ч. (2009). Петрофізика: теория и практика изучения коллекторских свойств горных пород и движения пластовых флюидов. М.: "Премиум Инжиниринг".
- Федоришин, Д. Д., Пятковська, І. О., Трубенко, О. М., Федоришин, С. Д., Трубенко, А. О. (2018). Удосконалення методик виділення порід-колекторів складнопобудованих геологічних розрізів з використанням математичної

статистики. *XVII Міжнародна конференція "Геоінформатика: теоретичні та прикладні аспекти"*, Київ, Україна. Електронна публікація.

Vyzhva, S. A., Onyshchuk, V. I., Onyshchuk D. I. (2017). Electrical model of Cambrian rocks from Volodymyrskaa area in Volyno-Podillia (Ukraine) *Nafta-Gaz: RokLXXIII*, 2, 90–96. DOI: 10.18668/NG.2017.02.03

Reference

- Dakhnov, V. N. (1975). Geophysical methods for the determination of reservoir properties and oil and gas saturation of rocks. Moscow: Nedra. [in Russian]
- Fedoryshyn, D. D., Piatkovska, I. O., Trubenko, O. N., Fedoryshyn, S. D. (2018). Improved methods of allocation reservoir rock from complex constructed geological sections by using mathematical statistics. *17th International Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects*, Kyiv, Ukraine. [in Ukrainian]
- Karpenko, O., Mykhailov, V., Karpenko, I. (2015). Eastern Dnieper-Donets depression: Predicting and developing hydrocarbon resources. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 68, 49–54. [in Ukrainian]
- Maslov, B., Onyshchuk, I., Shynkarenko, A. (2017). Modelling of nonlinear viscoelastic properties of terrigenous-calcareous sandstones. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 77, 99–105. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.77.13> [in Ukrainian]
- Mykhailov, V. A., Kurovets, I. M., Synkovskyy, Ju. N. et al. (2014). Unconventional sources of hydrocarbons in Ukraine: South oil and gas region. Book III. Kyiv: Kyiv University Publishing. [in Ukrainian]
- Mykhailov, V. A., Vyzhva, S. A., Zagnitko, V. M. et al. (2014). Unconventional sources of hydrocarbons in Ukraine. Eastern oil-gas-bearing region: Analytical investigations. Book IV. Kyiv: Kyiv University Publishing. [in Ukrainian]
- Nesterenko, M. Yu. (2010). Petrophysical basis of the substantiating of fluid saturation of reservoir rocks. Kyiv: UkrDHR. [in Ukrainian]
- Sadivnik, M., Fedoryshyn, D., Trubenko, O., Fedoryshyn S. (2013). Influence of Formation Pressure on the Electrical Characteristics of Rocks. *12th International Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects*, Kiev, Ukraine. [in Ukrainian]
- Tiab, D., Donaldson, E. C. (2009). Petrophysics: Theory and Practice of Measuring Reservoir Rock and Fluid Transport (2th Edition). Moscow: Premium Engineering. (Original work published 2004). [in Russian]
- Vyzhva, S., Onyshchuk, I. et al. (2017). Complex analytical laboratory researches of core samples of Runovshchynska area wells. *Report*. Science Park Kyiv Taras Shevchenko University. Kyiv. [in Ukrainian]
- Vyzhva, S., Mykhailov, V., Onyshchuk, D., Onyshchuk, I. (2014). Reservoir Rocks in Impact Structures: Electrical Parameters. *Visnyk of Taras Shevchenko National university of Kyiv. Geology*, 65, 31–35. [in Ukrainian]
- Vyzhva, S., Mykhailov, V., Onyshchuk, I. (2017). Petrophysical features of maikop series of the crimean-black sea region. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 79, 12–20. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.79.02> [in Russian]
- Vyzhva, S., Onyshchuk, D., Onyshchuk, V. (2012). Petroelectrical investigations of reservoir rocks of Western-Shebelynske gas condensate field. *Visnyk of Taras Shevchenko National university of Kyiv. Geology*, 57, 13–16. [in Ukrainian]
- Vyzhva, S. A., Mykhailov, V. A., Onyshchuk, D. I., Onyshchuk, I. I. (2013). Petrophysical parameters of unconventional types of reservoir rocks from southern oil-and-gas region. *Geoinformatics*, 3 (47), 17–25. [in Ukrainian]
- Vyzhva, S. A., Mykhailov, V. A., Onyshchuk, I. I. (2014). Petrophysical parameters of rocks from the areas of eastern sector of the Dnieper-Donets depression promising for shale gas. *Geofizicheskiy zhurnal*, 36, 2, 145–157. [in Ukrainian]
- Vyzhva, S. A., Onyshchuk, V. I., Onyshchuk D. I. (2017). Electrical model of Cambrian rocks from Volodymyrskaa area in Volyno-Podillia (Ukraine) *Nafta-Gaz: Rok LXXIII*, 2, 90–96. DOI: 10.18668/NG.2017.02.03.
- Vyzhva, S. A., Reva, M. V., Hozhyk, A. P., Onyshchuk, V. I., Onyshchuk, I. I. (2010). Petroelectrical investigations of borehole core of complexly-build reservoir rocks. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 50, 4–7. [in Ukrainian]

Надійшла до редколегії 01.12.18

S. Vyzhva, Dr. Sci. (Geol.), Prof., E-mail: vyzhva_s@ukr.net
 V. Onyshchuk, PhD (Geol.), E-mail: vitus16@ukr.net
 I. Onyshchuk, PhD (Geol.), Senior Scientific Researcher,
 E-mail: oivan1@ukr.net
 M. Reva, Docent, PhD (Phys.-Math.), E-mail: mvreva@gmail.com
 O. Shabatura, PhD (Geol.), E-mail: dard@ukr.net
 Taras Shevchenko National University of Kyiv,
 Institute of Geology, 90 Vasylyivka Str., Kyiv, 03022, Ukraine

ELECTRICAL PARAMETERS OF THE UPPER CARBON ROCKS (RUNOVSHCHYNSKA AREA OF THE DNEPER-DONETSK BASIN)

The main objective of this article is to study electrical parameters of sandstones and argillites of the Upper Carbon rocks in the Runovshchynska area of the Dnieper-Donets basin.

It has been determined that specific electrical resistivity of dry rock samples (specific electrical resistivity of rock matrix) varies from 44,802 k Ω -m to 6,115 M Ω -m (average 751,328 k Ω -m). Specific electrical resistivity of sandstones is 3,45 times more than argillites due to different shaliness of studied rocks.

Specific electrical resistivity of saturated rocks samples varies from 0,54 Ω -m to 10,46 Ω -m (average 1,23 Ω -m). Specific electrical resistivity of argillites is 2,46 times more than sandstones because the latter had high content of reservoir water in their pores (sandstones had better conductivity).

It has been determined that formation resistivity factor of sandstones in atmospheric conditions varies from 6,05 to 33,71 (argillites 11,8), and argillites – from 4,76 to 51,47 (average 17,4).

Physical modelling of reservoir conditions (temperature $t = 78,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, pressure $p = 31\text{--}31,9\text{ MPa}$, mineralization $M = 170\text{ g/l}$) showed that specific electrical resistivity varies from $0,3\text{ }\Omega\cdot\text{m}$ to $3,0\text{ }\Omega\cdot\text{m}$ (average $0,75\text{ }\Omega\cdot\text{m}$). Sandstones in reservoir conditions had the range from $0,3\text{ }\Omega\cdot\text{m}$ to $2,3\text{ }\Omega\cdot\text{m}$ (average $0,7\text{ }\Omega\cdot\text{m}$), and argillites – from $0,5\text{ }\Omega\cdot\text{m}$ to $3,0\text{ }\Omega\cdot\text{m}$ (average $1,2\text{ }\Omega\cdot\text{m}$). In this case, specific electrical resistivity of argillites is 1,6 times more than sandstones. Due to the closure of microcracks and the deformation of the pore space, the electrical resistance of rocks increases with increasing pressure. The dependence of formation resistivity enlargement factor on pressure for the studied rocks is expressed by 2-order polynomials.

The formation resistivity factor of the studied rocks in reservoir conditions has been determined. It was defined that sandstones in reservoir conditions had the range of the formation resistivity factor from 5,4 to 63,3 (average 20,3), and porosity coefficient – from 0,038 to 0,175 (average 0,113). The range of the formation resistivity factor for argillites was from 13,4 to 88,7 (average 34,3), and porosity coefficient – from 0,043 to 0,115 (average 0,086).

Analysis of data of laboratory electrometric investigations has allowed establishing correlations between the porosity coefficient and formation resistivity factor. In addition, the correlation of electrical parameters of rocks in atmospheric and reservoir conditions and the formation resistivity enlargement factor from the water saturation coefficient, taking into account the lithological varieties of the studied rocks, was established.

Keywords: specific electrical resistivity, formation resistivity factor, formation resistivity enlargement factor, correlation ratio, sandstones, argillites.

С. Выжва, д-р геол. наук, проф., E-mail: vsa@univ.net.ua

В. Онищук, канд. геол. наук, E-mail: vitus16@ukr.net

И. Онищук, канд. геол. наук, ст. науч. сотр.

E-mail: oivan1@ukr.net

Н. Рева, канд. физ.-мат. наук, доц., E-mail: mvreva@gmail.com

А. Шабатура, канд. геол. наук, E-mail: dard@ukr.net

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко

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

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПОРОД ВЕРХНЕГО КАРБОНА РУНОВЩИНСКОЙ ПЛОЩАДИ ДНЕПРОВСКО-ДОНЕЦКОЙ ВПАДИНЫ

Посвящено изучению электрических параметров песчаников и аргиллитов верхнего карбона Рунувщинской площади Днепро-Донецкой впадины.

Установлено, что значение удельного электрического сопротивления сухих экстрагированных образцов пород (удельное электрическое сопротивление минерального скелета) изменяется от $44,802\text{ k}\Omega\cdot\text{m}$ до $6,115\text{ M}\Omega\cdot\text{m}$ (среднее – $751,328\text{ k}\Omega\cdot\text{m}$). Электрическое сопротивление песчаников превышает этот параметр для аргиллитов в 3,45 раза, что связано с большей глинистостью исследованных аргиллитов.

Удельное электрическое сопротивление образцов пород, насыщенных моделью пластовой воды, меняется от $0,54\text{ }\Omega\cdot\text{m}$ до $10,46\text{ }\Omega\cdot\text{m}$ (среднее – $1,23\text{ }\Omega\cdot\text{m}$). Электрическое сопротивление насыщенных аргиллитов превышает этот параметр для песчаников в 2,46 раза, что связано с преобладающим влиянием на проводимость пород присутствующей в них пластовой воды, которой в песчаниках, в связи с их повышенной пористостью, больше.

Установлено, что в атмосферных условиях относительное электрическое сопротивление песчаников изменяется от 6,05 до 33,71 (среднее – 11,8), а аргиллитов – от 4,76 до 51,47 (среднее – 17,4).

При физическом моделировании пластовых условий (температура $t = 78,5\text{ }^{\circ}\text{C}$; давление $p = 31\text{--}31,9\text{ MPa}$; минерализация $M = 170\text{ г/л}$) установлено, что удельное электрическое сопротивление меняется от $0,3\text{ }\Omega\cdot\text{m}$ до $3,0\text{ }\Omega\cdot\text{m}$ (среднее – $0,75\text{ }\Omega\cdot\text{m}$). Песчаники при пластовых условиях имеют диапазон изменения удельного электрического сопротивления от $0,3\text{ }\Omega\cdot\text{m}$ до $2,3\text{ }\Omega\cdot\text{m}$ (среднее – $0,7\text{ }\Omega\cdot\text{m}$), а аргиллиты – от $0,5\text{ }\Omega\cdot\text{m}$ до $3,0\text{ }\Omega\cdot\text{m}$ (среднее – $1,2\text{ }\Omega\cdot\text{m}$). Электрическое сопротивление аргиллитов превышает этот параметр песчаников в 1,6 раза. Вследствие закрытия микротрещин и деформации порового пространства электрическое сопротивление пород возрастает с увеличением давления. Зависимость коэффициента увеличения удельного электрического сопротивления от давления для исследованных пород выражается полиномами 2-го порядка.

Определено относительное электрическое сопротивление исследованных пород в пластовых условиях. Установлено, что песчаники в пластовых условиях имеют диапазон изменения относительного электрического сопротивления от 5,4 до 63,3 (среднее – 20,3). Соответствующий этому диапазон изменения коэффициента пористости составляет от 0,038 до 0,175 (среднее – 0,113). Для аргиллитов диапазон изменения относительного электрического сопротивления в пластовых условиях составляет от 13,4 до 88,7 (среднее – 34,3), а коэффициента пористости – от 0,043 до 0,115 (среднее – 0,086).

Анализ данных лабораторных электрометрических исследований позволил установить для различных литологических разновидностей исследованных пород Рунувщинской площади корреляционные связи между коэффициентом пористости и относительным электрическим сопротивлением, между электрическими параметрами пород в атмосферных и пластовых условиях, а также между параметром увеличения электрического сопротивления и коэффициентом водонасыщения.

Ключевые слова: удельное электрическое сопротивление, относительное электрическое сопротивление, параметр увеличения сопротивления, корреляционные зависимости, песчаники, аргиллиты.

УДК 54.027:546.22:549.76:551.44

Т. Ахмедов, д-р геол.-минералог. наук, проф.
E-mail: akhmedov.tofik@bk.ru, тел.: +994 50 634 50 65
Государственный Университет Нефти и Промышленности, г. Баку, Азербайджан

НЕФТЕГАЗОНОСНОСТЬ МИОЦЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ПЛОЩАДИ ЗЫХ-ГОВСАН В СВЕТЕ ДАННЫХ СКВАЖИННОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

(Представлено членом редакционной коллегии д-ром геол. наук, проф. О. М. Карпенком)

Рассматриваются некоторые результаты сейсмических исследований, проведенных на площади Зых-Говсан, имеющих целью установить нефтегазоносность отложений миоцена, подстилающих продуктивную толщу нижнего плиоцена. В 2010 и 2014 гг. на данной площади были проведены наблюдения методом продольного и непродольного вертикального сейсмического профилирования (ВСП и НВСП). Рассмотрены времена первых вступлений волн, которые были использованы для установления вертикальной глубинно-временной зависимости ВСП. Приведены также результаты подсчета скоростей по ВСП, хорошо коррелируемые с независимыми данными акустического каротажа. По данным ВСП был проведен анализ сейсмических скоростей с целью выделения зон аномального высокого пластового давления (АВПД). По данным ВСП установлена кровля зоны значительного понижения скоростей сейсмических волн вплоть до 2000 м/с, на глубинах больше 3900 м, которая подтверждается сейсмической инверсией. Данная аномалия скорости сейсмических волн связана с зоной АВПД, что вызвано наличием флюидов в порах резервуара. В стратиграфическом отношении интервал АВПД охватывает отложения миоцена. В 2015 году на площади была пробурена глубокая скважина, которая подтвердила наши предположения об их нефтегазоносности и дала фонтан с суточным дебитом около 100 т нефти в день.

Ключевые слова: миоценовые отложения, вертикальное сейсмическое профилирование, акустический каротаж, сейсмическая инверсия, АВПД.

Введение. Исследуемое месторождение находится на покрытой древнекаспийскими отложениями приморской равнине, расположенной в южной части Апшеронского полуострова Азербайджана, недалеко от города Баку (рис. 1). История промышленной добычи нефти начинается с середины XIX столетия, когда в 1846 г. по предложению члена Совета Главного Управления Кавказом статского советника Василия Николаевича Семенова (1801–1863) начаты работы по бурению в Биби-Эйбате близ Баку. В 1846 году в Биби-Эйбате под руководством директора Бакинских нефтяных промыслов майора Корпуса горных инженеров Кондратенко, за 13 лет до известной американской скважины Эдвина Дрейка в Пенсильвании, была пробурена первая в мире разведочная скважина на нефть глубиной 21 м. Первая в мире современная эксплуатационная нефтяная скважина была также пробурена здесь в период с 1846 по 1848 год. Первая нефть была получена ударным способом с применением деревянных штанг 14 июля 1848 года.



Условные обозначения:
○ -нефтяные и нефтегазовые месторождения
□ -контур работ МОГТ-3Д
Рис. 1. Схема расположения части структур Апшеронского полуострова и архипелага

Месторождение Говсан открыто в 1948 году и введено в эксплуатацию с 1950 года. Геологическое строение этого месторождения неоднократно изучалось различными геолого-геофизическими методами (Ахмедов и др., 2012; 2013). В разные годы были выполнены работы по геологической съемке, структурно-поиско-

вому и глубокому бурению, гравиметрические и сейсмические исследования. Последние сейсмические исследования 2D МОГТ проводились здесь в 2004 году (Ахмедов, 2016). В 2011–2012 годах данная площадь изучена сейсморазведкой 3D. Литолого-стратиграфическая характеристика разреза в пределах площади Зых-Говсан изучена по данным глубокого бурения. Здесь развиты в основном неогеновые отложения древнего Каспия, породы апшеронского и ачкагельского ярусов, продуктивной толщи и частично отложения понта, ниже отложений понта залегают породы миоцена.

Постановка проблемы. Нефтегазоносность данного месторождения связана с горизонтами калинской свиты продуктивной толщи (ПТ) – КаС1, КаС2, КаС3 и КаС4. Их относительно мощные части более продуктивны, а на некоторых участках заполнены газом. Продуктивность скважин здесь составляет десятки тонн в сутки, что указывает на перспективность площади. Особый интерес представляют также отложения миоцена, подстилающие калинскую свиту. Калинская свита продуктивной толщи (ПТ) на площади Говсан представлена максимальной мощностью. Она характеризуется в основном чередованием пластов песка, песчаников, алевроитов, алевролитов и глин. Вскрытая общая мощность – 90–310 м. В настоящее время данное нефтяное месторождение находится в интенсивной разработке. Основной объем добытой до сих пор нефти приходится на отложения продуктивной толщи нижнего плиоцена, но в настоящее время геологов и геофизиков нашей страны интересует нефтегазоносность более глубоких отложений миоцена, эоцена и верхнего мела (Есипко и Москаленко, 2008; Кулиев и др., 2009). В этом отношении исследуемое месторождение не является исключением. После того как оператором разработки месторождения стала российская компания "РуссНефть" в лице АОС (Филиал компании "Absheron Operating Company Limited" – г. Баку, ОАО НК "РуссНефть" г. Москва), интерес к данному месторождению возрос, и в последние годы на этой площади неоднократно проводились наземные сейсморазведочные работы 2D и 3D (в 2012 г.), а также вертикальное сейсмическое профилирование в 2010 и 2014 годах. Здесь рассматриваются результаты проведенных нами сейсмических исследований, имеющих целью установить нефтегазоносность отложений, подстилающих ПТ, точнее миоцена.

В 2010 и 2014 годах были проведены наблюдения продольного (ВСП) и непродольного (НВСП) вертикаль-

ного сейсмического профилирования в двух разных глубоких скважинах, условно обозначенных нами ВСП-1 и ВСП-2 (Ахмедов и др., 2012; 2013). Основными задачами, стоящими перед этими скважинными сейсмическими исследованиями, являлись, как обычно, изучение сейсмического волнового поля во внутренних точках среды, а также скоростного разреза с целью составления прогнозной глубинно-временной зависимости для дальнейшего использования. В результате проведенных исследований выяснены некоторые интересные особенности изучаемого геологического разреза, на которых мы остановимся в данной публикации.

Цель исследования – изучение волновой картины ниже забоя скважин глубокого бурения для установления зоны АВГД и нефтегазонасыщенности отложений миоцена.

Методология. Выбранная расстановка ВСП представляла собой комбинацию продольного и непердольного профилей. Работы проводились в обсаженной скважине (одинарная и двойная колонны) с использованием импульсных источников – пневматической камеры (объем – 250 кубических дюймов, давление – 2200 фунтов/кв. дюйм) и наиболее совершенного в данное время четырехточечного зонда ВСП VSI-4. Данный прибор имеет трехкомпонентный сейсмоприемник типа акселерометра. Глубина источника составляла 2 м ниже уровня земли для обоих наблюдений ВСП и НВСП (в ВСП-1), а для ВСП-2 – 3,5 м. Контролирующий гидрофон был подвешен на 1 м выше источника в обеих расстановках при наблюдениях в ВСП-1, а в ВСП-2 – 1 м/3 м. При наблюдениях в ВСП-1 удаление источника/контроллера ВСП составляло 87,1 м, НВСП – 1304,7 м; азимут удаления ВСП был 189 град., НВСП – 287,2 град. Наиболее важные альтитуды: стол ротора = –17,44 м; уровень земли = –26,44 м; уровень приведения – уровень Балтийского моря.

Для ВСП-1 интервалы наблюдения ВСП составили: 275 уровней продольного профиля ВСП (между 4500 м

и 324,2 м измеренной глубины) и 270 уровней непердольного профиля НВСП (между 4499,93 м и 400,46 м измеренной глубины). Выбранный шаг квантования по глубине был ~15,12 м для обеих расстановок. Искривление скважины составляло до ~37,15 град.

Для ВСП-2 интервалы записи: а) 273 уровней между 4419 м и 321 м измеренной глубины (шаг 15,12 м) в наблюдениях ВСП и б) 273 уровней между 4419 м и 321 м измеренной глубины (шаг 15,12 м) в наблюдениях НВСП. Максимальное искривление скважины составляло ~18 градусов (рис. 2). Альтитуды: стол ротора = –17,7 м; уровень земли = –26,6 м; ноль-линия – уровень Балтийского моря. Полученные данные имеют хорошее и кондиционное качество, отвечающее целям и задачам поставленным перед ВСП. Вертикальное суммирование данных ВСП было успешно выполнено с использованием гидрофона – контроллера S1. Давление выстрелов пневматической камеры оставалось достаточно постоянным. Данные логически корректны и имеют хорошее качество с ярко выраженными первыми вступлениями (Ахмедов и др., 2012; 2013).

Времена первых вступлений были определены на вертикальной компоненте Z с контролем по горизонтальным компонентам X и Y. Несколько последних уровней ВСП осложнены трубной волной выше отметки 507,11 м измеренной глубины. Горизонтальная проекция НМХ (максимум энергии в плоскости XY) и компоненты XY не были серьезно затронуты этой волной ввиду ее поляризации преимущественно в вертикальной плоскости. Эти компоненты были использованы для определения времен в зоне, осложненной трубной волной. Частотный диапазон ограничен ~4–160 Гц для падающих волн и ~4–100 Гц для отраженных. В целом, ослабление частот с глубиной из-за поглощения достаточно сильное в забое, до ~30–40 Гц, что характерно для импульсных источников – пневматических камер, особенно при малом их количестве или небольшом объеме.

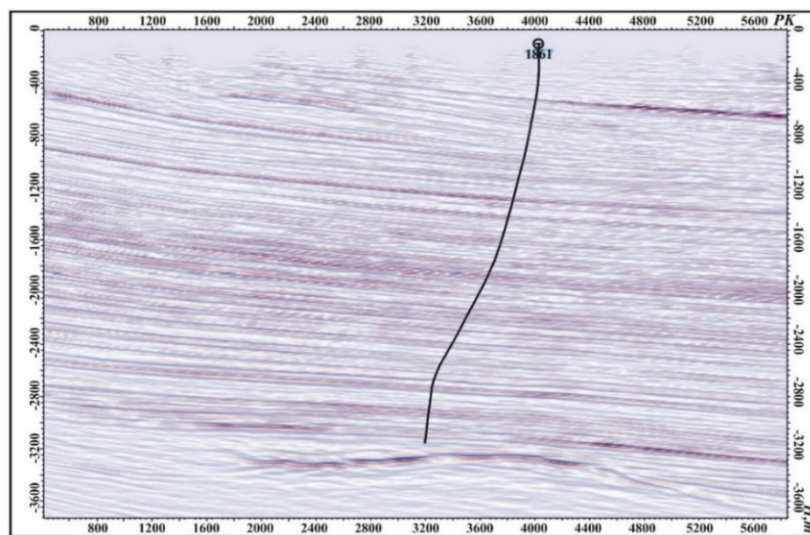


Рис. 2. Временной разрез вдоль сейсмического профиля, проходящего через скважины ВСП-2 и положение ствола скважины в разрезе

Различные типы волн видны на разных компонентах зонда ВСП. Времена первых вступлений были использованы для расчета вертикальной глубинно-временной зависимости ВСП с применением тригонометрических формул, данных инклинометрии и фактической геометрии расстановки ВСП. Для приведения глубинно-временной зависимости к ноль-уровню в качестве скорости в ВЧР (верхней части разреза) была использована скорость продольной волны в воде (~1500 м/с).

Рассчитанные интервальные скорости ВСП для обеих скважин хорошо коррелируются с независимыми данными акустического каротажа (рис. 3). Дополнительный анализ волновых картин ВСП показал, что определенные времена вступления волны верны и объективны. Некоторая разница между показаниями ВСП и АК объясняется различным диапазоном исследуемых частот и особенностями этих методов (Сафонов и др., 2011; Овчаренко и др., 2002).

Предоставленные для первой и второй скважин кривые ГИС загрузили и проверили. Интервалы с пропущенными значениями (~4242 м – ~4250 м, ~3817 м – ~4135 м измеренной глубины) были заполнены адекватными величинами для дальнейшего использования. Редактированные кривые были приведены к вертикали и скорректированы к уровню приведения. Полученный интервал кривых ГИС (1446–4335 м истинной вертикальной глубины, TVD-SRD) был использован для дальнейших расчетов. Все три компоненты X, Y, Z были использованы для поляризационного анализа и расчета проекции НМХ (максимум энергии в плоскости XY), результаты которых помогли лучше понять распространение упругой энергии на изучаемой площади. Несколько уровней ВСП (между 92,01 м и 167,60 м измеренной глубины) были удалены из обработки из-за влияния сильных трубных помех.

Результаты исследования. Продуктивно-красноцветная толща нижнего плиоцена Южно-Каспийского бассейна, в пределах которого находится изучаемое месторождение, является уникальным геологическим феноменом, не имеющим аналога в мире. Орогенные процессы, имеющие место в конце понта и приведшие к вздыманию окружающих Каспийское море участков суши, и огромное падение его уровня, достигавшее по некоторым данным от 600 до 1500 м, привели к полной изоляции Каспийского моря в нижнем плиоцене. Осадконакопление в это время имело место в условиях небольшого изолированного в области Южного Каспия бассейна, аккумулировавшего в себе всю огромную массу терригенного материала, поставляемого тремя

крупнейшими речными артериями – Палео-Волгой, Палео-Амударьей, Палео-Курой. Лавинная седиментация со скоростью, достигавшей 2,5 мм/год и большие темпы прогибания дна бассейна, привели к формированию уникальной 7-километровой терригенной продуктивной толщи, содержащей до 90 % всех запасов нефти и газа Азербайджана и Юго-Западной Туркмении. Более чем 30-километровая осадочная толща представлена широким стратиграфическим диапазоном отложений – от ааленского яруса средней юры до голоцена включительно (продолжительность формирования около 174 млн лет), именно в нижнем плиоцене за экстремально короткое время (в течение 2–2,5 млн лет) сформировался комплекс отложений, составляющий около 25 % от общей мощности осадочного выполнения бассейна и обладающий прекрасными коллекторскими свойствами. Этот терригенный чехол перекрывает глинисто-песчаные отложения миоцен-олигоцена (*Ализаде и др., 2018*). Естественно, что создались очень хорошие условия образования и развития диапировой складчатости, грязевого вулканизма, а также зон аномально высокого пластового давления (АВПД). Многие исследователи, отмечая широкое развитие зон АВПД в пределах Бакинского архипелага, не смогли определиться с северными границами этих зон. Только в пределах настоящих исследований нам удалось расширить северные границы зон АВПД до юго-восточной части Апшеронского полуострова по данным вертикального сейсмического профилирования. Было рекомендовано проведение ВСП в двух разных, достаточно удаленных друг от друга, скважинах с перерывом в 2 года.

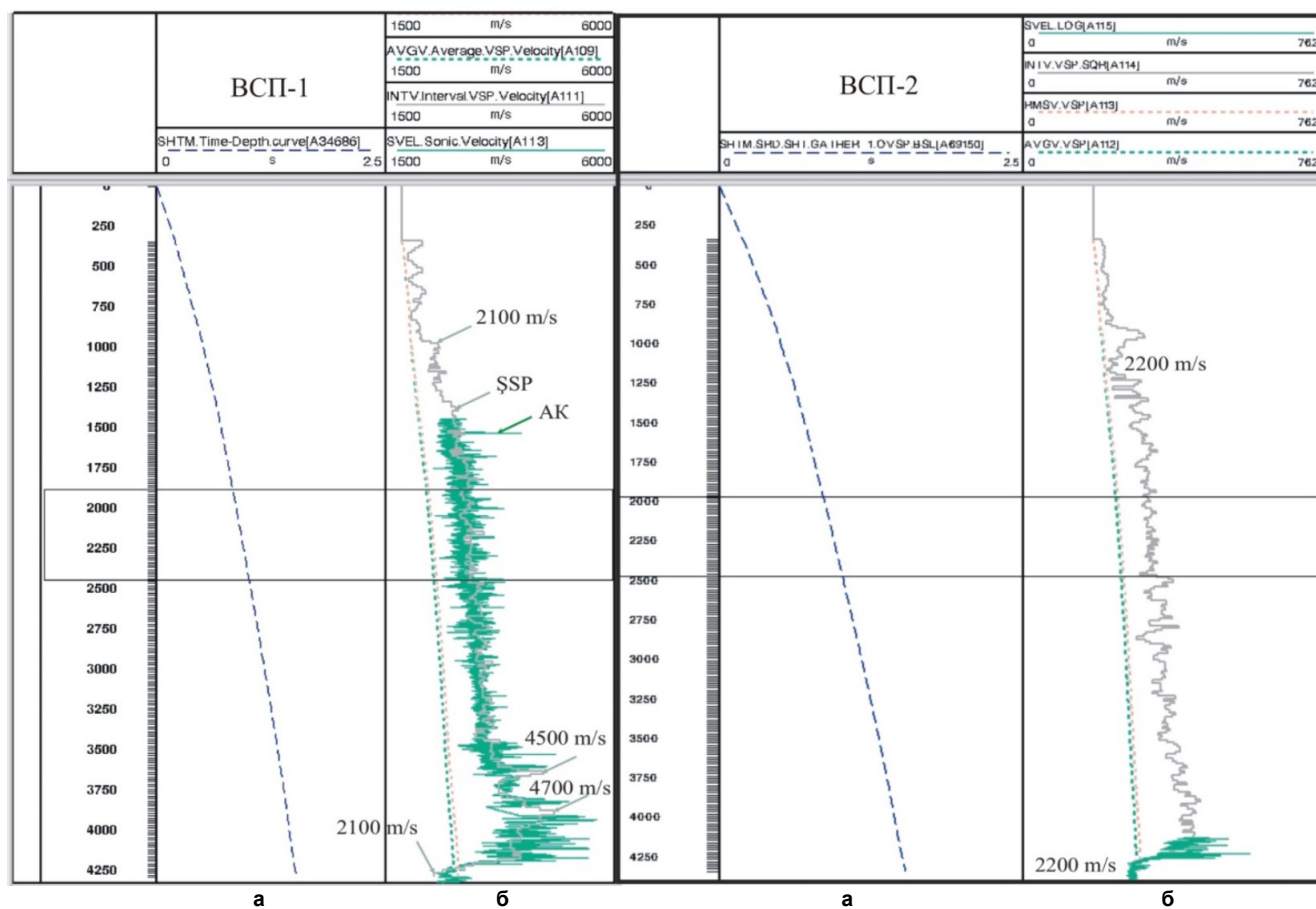


Рис. 3. Вертикальный годограф (а) и кривая интервальных скоростей, рассчитанных по данным ВСП с сопоставлением скоростной кривой АК (б)

Анализ скоростей, полученных по данным ВСП ниже забоя исследуемой первой скважины и акустического каротажа, показывает, что наблюдается значительное возрастание значений интервальных скоростей до 4500–4700 м/с до глубин 3600–3900 м, а затем резкое снижение их значений до ~2000 м/с на этих глубинах, что соответствует значению скорости при глубине 1000 м (рис. 3). Аналогичная картина наблюдается во второй скважине: здесь также наблюдается возрастание скорости до глубины ~4250 м, после которой происходит резкое падение ее значений до ~2200 м/с на глубинах ~4500–4600 м. Сейсмическая инверсия данных ВСП этих скважин также подтверждает падение скорости до аномальных значений для данных глубин. Это, на наш взгляд, явно свидетельствует о наличии на данном месторождении зоны АВГД, связанной со скоплениями флюидов, которая представляет большой практический интерес. Известно, что случаи аномального или повышенного давления возникают в результате закупоривания пластов по мере их захоронения, в результате чего пластовые флюиды лишаются возможности оттока из пласта и не дают породе уплотняться под возрастающим давлением толщи покрывающих пород, т.е. горного давления (Кулиев и др., 2009). Фактически только часть веса покрывающей толщи передается скелетом породы, заполняющему поры флюиду. Поэтому порода "чувствует себя" под дифференциальным давлением, которое соответствует несколько меньшей глубине, и скорость в ней соответствует этой меньшей глубине. В стратиграфическом отношении интервал АВГД охватывает отложения миоцена, которые в литофациальном отношении представлены глинистыми отложениями с прослойками песков. Эти прослойки песков не получили отображения на обычных сейсмических разрезах. Сейсмическая инверсия данных сейсморазведки 3D позволили выделять и идентифицировать песчаные прослойки (Фрейзер и др., 2008; Guliyev et al., 2010).

Как было отмечено выше, месторождение Говсан находится в интенсивной разработке с 1950 года, несмотря на это миоценовые отложения до недавнего времени не были вскрыты бурением и не было прямых сведений о зоне АВГД, которая охватывает интервал этих отложений. Данные ВСП и АК скв. 1856 были использованы для оценки аномально высоких значений пластового давления. Расчеты проводились с применением способа "эквивалентных глубин", методика которого широко освещена в работах (Добрынин и Серебряков, 1989; Есипко и Москаленко, 2008), для оценки значений пластового давления использована следующая формула:

$$P_a = g \cdot \delta_{\text{ср.вз}} \cdot H - (g \cdot \delta_{\text{эkv}} - \eta \cdot H) \cdot H_{\text{эkv}},$$

где P_a – аномальное поровое давление, g – ускорение свободного падения, $\delta_{\text{ср.вз}}$ и $\delta_{\text{эkv}}$ – средневзвешенные плотности соответственно на глубинах H и $H_{\text{эkv}}$.

Подставляя значения параметров разреза, входящих в вышеприведенную формулу, получим:

$$P_a^{4000} = 0,1 \cdot 2,3 \cdot 4000 - (0,1 \cdot 2,295 - 0,012) \cdot 3800 = 920 - 826,5 = 93,5 \text{ МПа}.$$

В настоящее время разработано достаточно много способов и подходов определения значения аномально высокого порового давления. Исходное физическое условие, позволяющее рассчитать значение аномально высокого порового давления в глинах, – существование связи между значением коэффициента глинистости породы с эффективным напряжением, действующим на его скелет. В связи с тем, что аномально высокое поровое давление в глинах равно давлению в граничащем коллекторе, определяя поровое давление, можно оце-

нить давление в пласте-коллекторе. Нами было высказано предположение о достаточно хороших коллекторских свойствах и нефтегазоносности, выделенных песчаных прослоек в миоценовых отложениях по сейсмическим данным. Пробуренная на миоценовые отложения в 2015 году скважина подтвердила нашу гипотезу и дала фонтан с высоким суточным дебитом нефти, тем самым подтвердив ещё раз и нефтегазоносность миоценовых отложений в пределах Абшеронского полуострова и на его продолжении в Каспийском море. Эта скважина эксплуатируется в настоящее время с суточным дебитом 4 т. Вторая скважина, пробуренная недавно, в настоящее время находится на стадии опробования и дает обнадеживающие результаты. Давление в забое обеих скважин, измеренное манометром составляло около 1000 МПа.

Заключение. Остановимся на некоторых выводах методического (сейсмического) и геологического характера. С целью увеличения детальности исследований необходимо устранить сильное ослабление высокочастотных составляющих с глубиной, поэтому рекомендуется использовать вибрационные источники сейсмических колебаний, для которых генерируемый набор частот достаточно постоянен на всех глубинах. Другая проблема методического характера связана пространственной частотой: если в будущем необходимо избавиться от проблемы ложных частот, можно рекомендовать уменьшить шаг наблюдений вдвое – до 7,5 м. Вместе с увеличением энергии источника возбудителей это дало бы расширение спектрального состава регистрируемых сейсмических колебаний.

Следует особо остановиться на зоне АВГД, которая несомненно имеет важное практическое значение с точки зрения безопасности как буровых работ в данном регионе, так и повышения интенсивности добычи углеводородов. На наш взгляд, необходимо продолжить работы по ее изучению.

Список использованной литературы

- Ализаде, А. А. и др. (2018). Продуктивная толща Азербайджана. Том I и II. Москва: Недра.
- Ахмедов, Т. Р. (2016). О геологической эффективности сейсморазведки при изучении не антиклинальных ловушек Азербайджана разного типа. *Известия УГТУ*, 3 (43), 41–45.
- Ахмедов, Т. Р. и др. (2012). Некоторые результаты наземной и скважинной сейсморазведки Говсанского месторождения. *НТВ Каротажник*, 6 (216), 3–16.
- Ахмедов, Т. Р. и др. (2013). Роль боковых волн в формировании волнового поля скважинной сейсморазведки на примере площади Говсан. *Азербайджанское нефтяное хозяйство*, 2, 9–14.
- Добрынин, В. М., Серебряков, В. А. (1989). Геолого-геофизические методы прогнозирования аномальных пластовых давлений. Москва: Недра.
- Есипко, О. А., Москаленко, В. Н. (2008). Информационное обеспечение определения и прогнозирования давления флюида по данным ГТИ ГИРС при строительстве скважин. *НТВ Каротажник*, 11 (176), 44–58.
- Кулиев, Г. Г., Агаев, Х. Б., Ширинов, Н. М. (2009). Исследование влияния давления на значения упругих параметров геологической среды на основе сейсмических и скважинных данных. *Материалы IX Международной научной конференции "Мониторинг геологических процессов"*, Киев, 17–18.
- Мамедов, П. З. (1988). Сейсмостратиграфические исследования в Апшеронском архипелаге с целью расчленения осадочного чехла и выявления неантиклинальных ловушек. *Сб. ИГАН СССР*, 46–48.
- Мамедов, П. З. (2008). О причинах быстрого прогибания земной коры в Южно-Каспийской впадине. *Азербайджанское нефтяное хозяйство*, 1, 9–15.
- Овчаренко, А. В., Сафонов, А. С., Шлезингер, А. Е. и др. (2002). Методические приемы интерпретации геофизических материалов при поисках, разведке и освоении месторождений углеводородов. Москва: Научный мир, 43–57.
- Сафонов, А. С., Кондратьева, Е. С., Федотова, О. В. (2011). Поиск неантиклинальных ловушек углеводородов методами сейсморазведки. Москва: Научный мир, 187–365.
- Фрейзер, Б., Андерс, Б., Хосе, К. А., Энтони, К., Денис, К. и др. (2008). Сейсмическая инверсия: читаем между строк. Москва: Нефтегазовое обозрение, 50–75.
- Guliyev, H. N., Aghayev, Kh. B., Shirinov, N. M. (2010). The research of the influence of the values of elastic parameters of geological medium on the basis of seismic and well data. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 50, 10–16.

References

- Akhmedov, T. R. (2016). O geologicheskoy effektivnosti seysmorazvedki pri izuchenii ne antiklinalnykh lovushek Azerbaydjana raznogo tipa. *Izvestiya UZQU*, 3 (43), 41-45.
- Akhmedov, T. R. et al. (2012). Nekotorye rezultaty nazemnoy i skvazhinnoy seysmorazvedki Hovsaninskogo mestorojdeniya UV. *NTV Karotajnik*, 6 (216), 3-16.
- Akhmedov, T. R. et al. (2013). Rol bokovykh voln v formirovaniy volnovogo polya skvazhinnoy seysmorazvedki na primere ploshadi Hovsan. *Azerbaydjanskoe neftyanoe khozyaystvo*, 2, 9-14.
- Alizade, A. A. et al. (2018). Produktivnaya tolsha Azerbaydjana. Tom I i II. Moskva: Nedra.
- Dobrynin, V. M., Serebryakov, V. A. (1989). Geologo-geofizicheskiye metody prognozirovaniya animalnykh plastovykh davleniy. Moskva: Nedra.
- Freyzer, B., Anders, B., Chose, K. A., Entoni, K., Denis, K. et al. (2008). Seysmicheskaya inversiya: chitaya mejdu strok. Moskva: Neftyanoe obozrenie, 50-75.
- Guliyev, H. H., Aghayev, Kh.B., Shirinov, N. M. (2010). The research of the influence of the values of elastic parameters of geological medium on the basis of seismic and well data. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 50, 10-16.
- Kuliyev, G. G., Agayev, Ch. B., Shirinov, N. M. (2009). Issledovanie vliyaniya davleniya na znacheniya uprugich parametrov geologicheskoy sredy na osnove seysmicheskikh i skvazhinnykh dannikh. *Materialy IX Mejdunarodnoy nauchnoy konferentsii "Monitoring geologicheskikh prosesov"*, Kyiv, 17-18.
- Mamedov, P. Z. (1988). Seysmostratigraficheskie issledovaniya v Apsheronskom archipelage s tselyu raschleneniya osadochnogo chechla i vyyavleniya ne antiklinalnykh lovushek. *Sb. I GANA SSSR*, 46-48.
- Mamedov, P. Z. (2008). O prichinakh bistrogo progibaneya zemnoy kori v Yujno-Kaspiyskoy vpadine. *Azerbaydjanskoe neftyanoe khozyaystvo*, 1, 9-15.
- Ovcharenko, A. V., Safonov, A. S., Shlezinger, A. Ye. et al. (2002). Metodicheskie priyomy interpretatsii geofizicheskikh materialov pri poiskakh, razvedke i osvoenii mestorojdeniy uglevodorodov. Moskva: Nauchnyy mir, 43-57.
- Safonov, A. S., Kondratyeva, E. S., Fedotova, O. V. (2011). Poisk ne antiklinalnykh lovushek uglevodorodov metodami seysmorazvedki. Moskva: Nauchnyy mir, 187-365.
- Yesipenko, O. A., Moskalenko, V. N. (2008). Informatsionnoe obespecheniye opredeleniya i prognozirovaniya davleniya flyuda po dannym GTI GIRS pri stroitelstve skvazhin. *NTV Karotajnik*, 11 (176), 44-58.

Надійшла до редколегії 07.08.18

Tofiq R. Ahmadoy, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof of Department of "Geophysics"
E-mail: akhmedov.tofik@bk.ru, tel.: +994 50 634 50 65
Azerbaijan State Oil and Industry University, Baku, Azerbaijan

THE HYDROCARBON BEARING CAPACITY OF MIOCENE RESERVOIR UNITS IN THE LIGHT OF BOREHOLE SEISMIC DATA

The presented paper includes several results of seismic exploration that was conducted on the Zikh-Hovsan oilfields with the target areas of Miocene reservoirs that underlie the primary Productive Suite of Azerbaijan, Lower Pliocene reservoirs. In 2010, the VSP and offset VSP were conducted on these fields. The paper includes the first wave arrival times for the vertical depth-time relationship, as well as, the different types of waves (P, S, Incident, reflecting and exchange), based on the VSP data analysis of three components (XYZ). In addition, the velocity calculated from the VSP data is presented, which correlates with sonic log data. Moreover, the VSP velocity analysis was carried out and the overpressured areas were identified. Furthermore, the results of overpressure analysis which are presented in this paper indicate the velocity of about 2000 m/s at the depths of more than 3900 m, which are supported by the seismic inversion. Stratigraphically, overpressure encompasses the Miocene stratigraphical units. In 2015 the well was drilled that confirmed the fact of oil presence and produced in about 100 tons of oil/day. This fact has also supported the hydrocarbon bearing capacity of Miocene stratigraphical units across Absheron peninsula and its continuation into the Caspian Sea.

Keywords: Miocene reservoirs, vertical seismic profiling, pneumatic source, frequency spectrum, sonic logging, seismic inversion, overpressure.

T. Ахмедов, д-р геол.-мінералог. наук, проф.
E-mail: akhmedov.tofik@bk.ru, тел. : +994 50 634 50 65
Державний університет нафти і промисловості, м. Баку, Азербайджан

НАФТОГАЗОНОСНІСТЬ МІОЦЕНОВИХ ВІДКЛАДІВ ПЛОЩІ ЗИХ-ГОВСАН У СВІТЛІ ДАНИХ СВЕРДЛОВИННОЇ СЕЙСМОРОЗВІДКИ

Розглянуто деякі результати сейсмічних досліджень, проведених на площі Зих-Говсан, що мають на меті встановити нафтогазоносність відкладів міоцену, підстилаючих продуктивну товщу нижнього пліоцену. У 2010 і 2014 роках на даній площі були проведені спостереження методом поздовжнього і непоздовжнього вертикального сейсмічного профілювання (ВСП і НВСП). Розглянуто часи перших вступів хвиль, які було використано для встановлення вертикальної глибинно-часової залежності ВСП. Наведено також результати підрахунку швидкостей по ВСП, які добре корелюються з незалежними даними акустичного каротажу. За даними ВСП був проведений аналіз сейсмічних швидкостей з метою виділення зон аномального високого пластового тиску (АВПТ). За даними ВСП установлена покрівля зони значного зниження швидкостей сейсмічних хвиль аж до 2000 м/с на глибинах більше 3900 м, яка підтверджується сейсмічною інверсією. Дана аномалія швидкості сейсмічних хвиль пов'язана із зоною АВПТ, що викликано наявністю флюїдів у порах резервуара. У стратиграфічному відношенні, інтервал АВПТ охоплює відклади міоцену. У 2015 році на площі було пробурено глибоку свердловину, яка підтвердила наші припущення щодо їхньої нафтогазоносності і дала фонтан з добовим дебітом близько 100 т нафти на день.

Ключові слова: міоценові відклади, вертикальне сейсмічне профілювання, акустичний каротаж, сейсмічна інверсія, АВПТ.

УДК 550.2

А. Вольвач, д-р физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.

E-mail: volvach@meta.ua;

Г. Курбасова, канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.

E-mail: gskurb@gmail.com

МОДЕЛЬ ИНСОЛЯЦИИ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ В ПУНКТЕ "КАРАДАГ" ПО ДАННЫМ SSE*(Представлено членом редакційної колегії д-ом фіз.-мат. наук, старш. наук. співроб. В. Г. Лозицьким)*

Аномальное усиление солнечной инсоляции поверхности земли при наличии в её недрах очагов возбуждения может вызвать в локальных пунктах ответную реакцию. К таким очагам относятся прежде всего недавние и прошлые (ретро)вулканы, такие как древний вулкан на территории Карадага в Крыму. Авторами настоящей статьи была обнаружена повышенная, по сравнению с другими пунктами Крыма, общая инсоляция по данным SSE. По данным 22-летнего линейного тренда, вычислена скорость роста инсоляции, падающей на поверхность земли в пункте Карадаг, которая составляет 2,69 кВт*ч/м² за столетие, что более чем в два раза превышает рост инсоляции в других районах Крыма. До настоящего времени это явление является предметом дискуссий, и требуются дополнительные исследования, как геологической структуры Карадага, так и воздействия со стороны внешних и внутриземных сил.

На этапе изучения структуры данных об инсоляции поверхности земли в пункте Карадаг нами построена синусоидальная модель 6-го порядка. Наиболее мощные (амплитуды более чем на порядок превышают уровень шума) регулярные на 22-летнем интервале колебания имеют периоды, равные 365,3 и 365,7 суток. Статистические оценки степени приближения синусоидальной моделью ($R^2 = 0,9$, $RMSE = 0,7$) указывают, что, кроме регулярных периодических колебаний в данных, присутствуют нерегулярные колебания на интервалах времени, определяемых с помощью непрерывного частотно-временного вейвлет-анализа. На графике вейвлет-преобразования выделяется интервал энергетического роста инсоляции в пункте Карадаг после 1995 года. С целью анализа статистической связи изменений локальной инсоляции поверхности земли с вращением Земли вокруг оси и её движением по орбите, солнечной активностью и глобальной температурой были вычислены авторегрессионные модели спектральной плотности мощности, с помощью которых установлены когерентные колебания между вариациями в данных об инсоляции поверхности земли в пункте Карадаг и вариациями в данных: о длительности суток (LOD) с периодом 11,8 лет и квадратом модуля когерентности 0,85; о солнечной активности с периодами 10,5, 3,6 лет и квадратом модуля когерентности 0,8 и 0,85; об индексах глобальной температуры с периодами 2,3, 3,5 лет и квадратом модуля когерентности 0,7 и 0,9 соответственно.

Обнаруженный нами повышенный рост инсоляции и температуры земли в пункте Карадаг требует дополнительных исследований и наблюдений.

Ключевые слова: Земля, инсоляция, Крым, спутники.

Введение. Солнце – основной источник энергии на Земле. Однако физические характеристики Солнца меняются в различных масштабах времени. Особую значимость для жизни на Земле представляет практически неизменяемая светимость (на уровне 0,1 % в настоящую эпоху).

В период наибольшей солнечной активности ультрафиолетовое, рентгеновское и корпускулярное излучение Солнца влияют на магнитосферы и ионосферы Земли, изменяя межпланетную среду. До недавнего времени единственной характеристикой переменности солнечной активности было изменение количества солнечных пятен.

Наблюдения солнечных пятен продолжается уже более 400 лет. Для характеристики солнечной активности среди многочисленных индексов наиболее часто используются числа Вольфа. Изменение солнечной активности в числах Вольфа (и в других индексах) носит циклический характер со средней продолжительностью циклов 11,2 года (цикл Швабе).

Накопленные данные наук о Земле содержат информацию о происходящих глобальных изменениях в природе. За последнее время существенно возросла эндогенная активность Земли (Берри, 1991; Белов и Шестопалов, 2011); наблюдается повышение глобальной температуры (Пабат, 2006; Сонечкин и др., 1997), а также усиление атмосферных и магнитных аномалий, связанных с активностью солнечных процессов (Белов и Шестопалов, 2011). Для прогноза изменений параметров системы Земля необходимо наблюдать их связь с глобальными гелиогеодинамическими процессами: движением полюсов и вращением Земли, изменениями параметров системы Земля–Луна, лунно-солнечными приливами, гравитационным взаимодействием планет Солнечной системы, солнечной активностью, параметрами геомагнитного поля. Проявления этой взаимосвязи в различных местах земного шара имеют свои особенности, обусловленные локальными условиями. Поэтому предсказание экологических локальных катастроф направлено на изучение косвенных признаков о возможной активизации землетрясений и вулканов.

Изучение изменений гелиогеофизических и метеорологических локальных параметров, кроме научного интереса, необходимо для нужд развивающейся экономики. Так, нормирование и расчёт инсоляции являются сейчас, пожалуй, наиболее острой светотехнической, экономической и социально-правовой проблемой. С переходом землепользования и строительства на рыночную основу нормы инсоляции стали главным фактором, сдерживающим стремления инвесторов, владельцев и арендаторов земельных участков к переуплотнению городской застройки с целью получения максимальной прибыли.

В странах Центральной и Южной Америки и даже в южных районах США считается, что окна должны быть затенены, когда температура наружного воздуха достигает +21 °С. Это предложение основывается на общих субъективных ощущениях. Необходимо руководствоваться научными критериями, основанными на целой серии наблюдений и измерений (Михеев и др., 2002).

Наблюдения и анализ изменений локальной инсоляции поверхности земли со строгим учётом астрономических факторов, связанных с вращением Земли вокруг оси и её движением по орбите, позволяет обнаруживать аномалии, связанные с непрогнозируемыми внешними и внутриземными факторами.

Аномальное усиление солнечной инсоляции поверхности земли может вызвать в локальных пунктах ответную реакцию при наличии в её недрах очагов возбуждения. К таким очагам относятся прежде всего недавние и прошлые (ретро)вулканы.

На полуострове Крым есть несколько (ретро)вулканов. Один из них, особо опасный по экологическим последствиям, действовал в пункте Карадаг.

В настоящее время не существует методов предсказания их "пробуждения". Существует ряд косвенных признаков возможной активизации землетрясений и вулканов. К ним относятся такие, как экстремальные события на Солнце, динамика вращения Земли, активизация течения жидких масс внутри Земли, события в атмосфере и магнитосфере. Нарушения теплового баланса, необъяснимый периодически протекающими

процессами приток энергии в локальном месте поверхности земли служат сигналом нестабильности экологической обстановки.

В работе представлена модель регулярных колебаний суммарной инсоляции поверхности земли в пункте Карадаг, построенная нами по данным SSE (Surface meteorology and Solar Energy); обсуждаются причины энергетического роста инсоляции в пункте Карадаг после 1995 года. Проведено сравнение динамики роста инсоляции и температуры поверхности земли в пункте Карадаг и других пунктах Крыма за 22 года.

Источники и характеристики исходных данных.

Данные SSE. Для поддержки научных и технических разработок по проблемам возобновляемой энергетики в NASA разработан и успешно функционирует в настоящее время проект прогноза энергетических ресурсов во всем мире (POVER – Prediction of Worldwide Energy Resource Project), в рамках которого создана база данных параметров наземной метеорологии и солнечной энергии из более 200 спутниковых параметров метеорологии и параметров солнечной энергии. Имеющийся в этой базе 22-летний ряд климатологии (июль 1983 – июнь 2005) обеспечивает глобальный охват по поверхности Земли множества данных SSE.

С 13 июня 2018 года новый проект POWER включает улучшенные солнечные и метеорологические данные со всеми параметрами, доступными на глобальной сетке 0,5° широты и 0,5° долготы. Для анализа нами использовались суточные данные SSE и средние за 22-летний период (июль 1983 – июнь 2005 года) среднегодовые данные об инсоляции, падающей на поверхность земли и температуры поверхности земли.

Точность спутниковых измерений НАСА оценивалась с помощью многочисленных наземных измерений. Хотя надежность наземных измерений сама по себе не всегда достаточно точна, по оценкам НАСА, среднеквадратическая ошибка ежемесячных значений составляет около 13–16 %, а средняя ошибка отклонений от наземных наблюдений лежит между –2 и +0,7 % (*Surfacemeteorology...*, 2018).

В процессе использования данных SSE нами удален ненормированный "белый шум". В результате дисперсия в границах неопределённости составляет 0,00228.

Для установления когерентных колебаний использовались среднегодовые данные: о длительности суток (LOD) (*IERS, Earth Orientation Center...*, n.d.; *Aoki e tal.*, 1982); о солнечной активности (*Table Data: SIDC...*, 2018); об индексах глобальной температуры (*Global Land...*, n.d.).

Инсоляция, падающая на поверхность земли в Крыму. Инсоляция измеряется количеством энергии солнечного излучения (солнечной радиации), падающей на единицу горизонтальной поверхности в единицу времени (единица измерения кВт*ч/м²/сут).

Солнечная радиация – главный источник энергии для всех физико-географических процессов, происходящих на земной поверхности и в атмосфере – это электромагнитное излучение, сосредоточенное в основном в диапазоне волн длиной от 2,8 мкм до 0,1 мкм.

Та солнечная радиация, которая непосредственно доходит до поверхности Земли, называется **прямой солнечной радиацией**. Часть солнечной радиации рассеивается в атмосфере, после чего уже доходит до поверхности планеты, такую радиацию называют **рассеянной солнечной радиацией**. Прямая и рассеянная радиации вместе составляют **суммарную солнечную радиацию**.

Отраженная солнечная радиация – часть суммарной солнечной радиации, которая не поглощается земной

поверхностью, а отражается от нее, зависит от характера поверхности отражения, что необходимо учитывать при анализе данных об инсоляции в различных пунктах Земли.

Поглощенная солнечная радиация – часть суммарной солнечной радиации, которая поглощается земной поверхностью и идет на нагревание верхних слоев почвы, воды, снежного покрова. Поглощенная солнечная радиация равна разности суммарной и отраженной радиаций.

Различают астрономическую, вероятную и фактическую инсоляцию. Астрономическая инсоляция определяется вращениями Земли вокруг Солнца и собственной оси, наклонённой под углом 23,5° к эклиптике. Земному наблюдателю она представляется гармоническим колебанием положения солнечной параллели относительно небесного экватора с периодом в 365 суток и угловым фазовым смещением (склонением Солнца).

Вероятная инсоляция зависит от состояния атмосферы и облачного покрова. Фактическая инсоляция всегда отличается от вероятной и может быть определена лишь наземными и спутниковыми наблюдениями.

Проведём сопоставление данных об инсоляции, падающей на поверхность земли, и о температуре поверхности земли в различных пунктах Крыма, используя данные SSE за период 01.07.1983 – 06.30.2005. Предварительно из данных был удалён ненормированный "белый" шум с помощью метода вейвлет-преобразования (вейвлеты 'haar'), который позволяет учитывать изменения статистических параметров шума по оси времени. Очищенные от "белого" шума данные содержат не "белый" шум, уровень которого оценивается стандартным отклонением 0,151 (std = 0,151).

Сопоставим многолетние тенденции изменения инсоляции в отмеченных на рис. 1 пунктах Крыма. Для сравнения выбраны четыре крайних пункта: северный – Перекоп, восточный – Фонарь, южный – Сарыч, западный – Карамрун, а также пункты "Карадаг" и Симферополь в связи с их геологической историей (*Кондраки, 1973; Паллас, 1795*). Линейные тренды суточных данных представляют информацию о тенденциях изменений инсоляции в отдельных пунктах полуострова. Скорость роста инсоляции в пункте "Карадаг" по данным 22-летнего линейного тренда составляет 2,69 кВт*ч/м² за столетие, что более чем в два раза превышает рост инсоляции в других районах Крыма.

Линейные тренды, приведенные на рис. 2, демонстрируют рост температуры поверхности земли в интервале 22 лет, кроме пункта Фонарь, где она убывает. В пункте Карадаг наблюдается более высокая температура поверхности земли (по сравнению с остальными пунктами) и положительная тенденция роста её. Это значит, что рост фактической суммарной инсоляции в пункте Карадаг (рис. 1) происходит не только за счёт особых условий отражения инсоляции, падающей на поверхность земли.

График тенденции величины инсоляции, падающей на горизонтальную поверхность земли в пункте Карадаг, представлен линейным трендом (рис. 1).

Модель линейного тренда нами получена в виде:

$$T(x) = p1 \cdot x + p2, \quad (1)$$

где x – время в сутках от начального момента отсчёта данных.

В формуле (1) коэффициенты (с 95 % доверительными границами в скобках) равны:

$$p1 = 7,363e-005 \text{ (7,363e-005, 7,363e-005);}$$

$$p2 = 3,646 \text{ (3,646, 3,646).}$$

Единицы измерения $p1$ и $p2$: кВт*ч/м²/сутки.

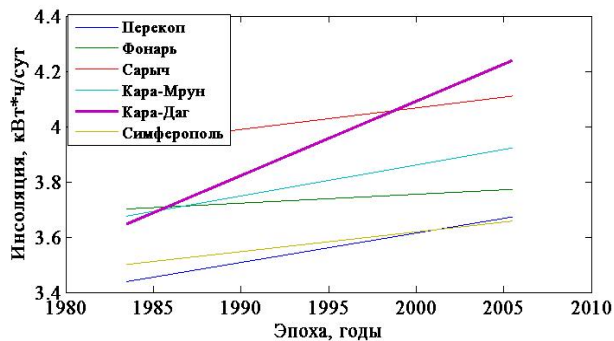


Рис. 1. Среднесуточная инсоляция, падающая на горизонтальную поверхность земли в пунктах Крыма по спутниковым измерениям (тренды), данные SSE

Инсоляция, падающая на поверхность атмосферы, составляет главный вклад Солнца в энергетику Земли. Но до поверхности Земли через атмосферу приходит только часть этой энергии, которая распределяется неравномерно, как это видно из графика на рис. 2.

Локальные геологические особенности, техногенные факторы, а также региональная и глобальная активность эндогенных процессов Земли способствуют неравномерному распределению инсоляции, падающей на поверхность земли Крыма.

Повышенный рост инсоляции, падающей на поверхность земли (рис. 1), и повышенное прогревание поверхности земли (рис. 2) в пункте Карадаг требует изучения

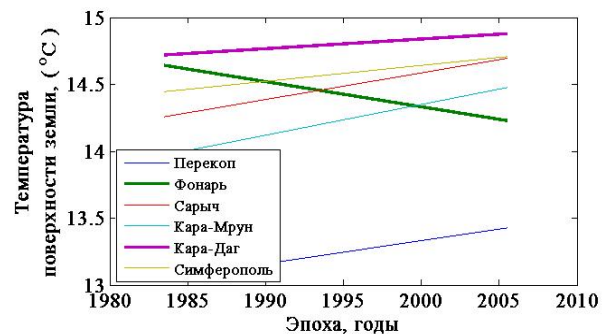


Рис. 2. Температура поверхности Земли в пунктах Крыма по спутниковым измерениям (тренды), данные SSE

возможного источника дополнительной энергии в этом пункте. На примере инсоляции, падающей на поверхность земли в пункте "Никитский ботанический сад", нами ранее проведено сравнение наземных наблюдений и спутниковых данных (SSE). Как следует из сравнения графиков на рис. 3, расхождения не существенные.

График на рис. 4 демонстрирует: максимальный приток солнечной энергии в Крыму приходится на площадь 43°–45° северной широты и 33°–35° восточной долготы; наблюдается рост инсоляции в юго-восточном направлении.



Рис. 3. Средние за 22 года среднемесячные данные инсоляции, падающей на поверхность земли в пункте "Никитский ботанический сад" (Курбасова и Вольвач, 2014; Kurbasova and Volvach, 2014)

Анализ данных об инсоляции, падающей на поверхность земли в пункте "Карадаг".

1. *Частотно-временной анализ.* Общие положения о непрерывном вейвлет-преобразовании содержатся в обширной литературе (Daubechies, 1992; Farge, 1992; Mallat, 1998).

Не существует прямого соответствия между длиной волны Фурье и масштабом вейвлет-преобразования a . Тем не менее, можно найти коэффициенты преобразования для отдельных вейвлетов, которые дают приближительное соответствие по частоте шкалы.

Уравнение непрерывного преобразования вейвлета с помощью обратного дискретного преобразования Фурье имеет вид (Sun, 2010):

$$C(a, b; f(t), \psi(t)) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \hat{f}(\omega) \sqrt{a} \hat{\psi}^*(a\omega) e^{j\omega b} d\omega, \quad (2)$$

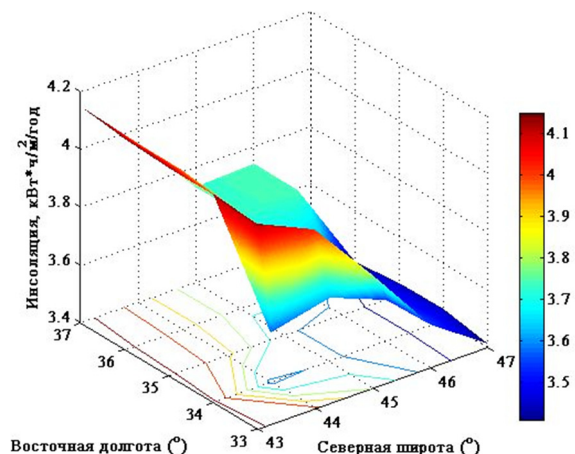


Рис. 4. Средняя за период с 1983 по 2005 годы среднегодовая инсоляция, падающая на поверхность земли Крыма (по данным SSE)

где a – параметр масштаба; b – временная переменная в обратном преобразовании Фурье; $\psi(t)$ – вейвлет; ω – частота.

Последовательность анализируемых данных об инсоляции представляет собой вектор длины N , $x(n)$. Дискретная версия свертки в этом случае представляется в виде

$$W_a[b] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] \hat{\psi}_a[b-n]. \quad (3)$$

Основной целью проведения частотно-временного анализа в нашем случае является обнаружение периодических составляющих и получение частотно-временных характеристик. Соответствие между длиной волны Фурье и масштабом достигается правильным выбором типа вейвлета. Для случая оценки частот (периодов) гладких функций разработаны и предлагаются пользователям ал-

горитмы частотно-временного анализа данных с применением вейвлетов 'morle' и 'paul' (Torrence and Compo, 1998). На рис. 5 приведен график, соответствующий математическому описанию вейвлета 'morle' в виде

$$\psi(x) = e^{-x^2/2} \cos(5x) \quad (4)$$

Проведенный нами частотно-временной непрерывный вейвлет-анализ обнаруживает в спектральной

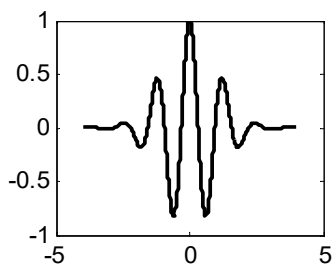


Рис. 5. Вейвлет Морле ('morle')

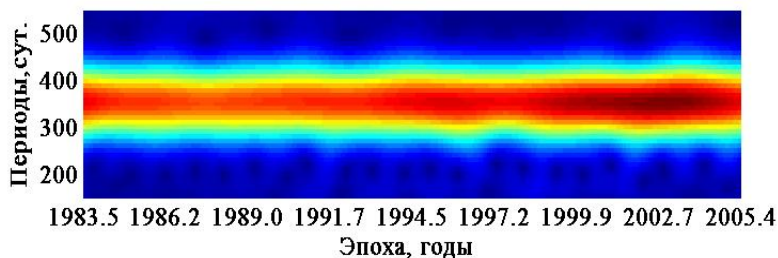


Рис. 6. Частотно-временная характеристика данных о среднесуточной инсоляции, падающей на горизонтальную поверхность земли в пункте "Карадаг" (данные SSE). Вейвлет-преобразование (вейвлеты 'morl')

Анализ графика на рис. 6 показывает: наиболее мощные гармонические колебания выделяются в интервале периодов ~231–452 суток; на временном интервале ~1995–2005 лет наблюдается нарастающий локальный рост энергии колебаний.

Частотно-временной вейвлет-анализ обнаруживает регулярные периодические колебания в данных, которые могут быть описаны гладкими периодическими функциями.

На рис. 7 приведены графики последовательного преобразования данных.

Периодические процессы в данных обычно описывают синусоидальными моделями. При этом глобальная модель периодических колебаний в анализируемых данных имеет вид

$$f(x) = \sum_{i=1}^n a_i \sin(b_i x + c_i), \quad (5)$$

где n – количество синусоид, суммируемых в модели; a_i , b_i , c_i ($i=1, \dots, n$) – коэффициенты.

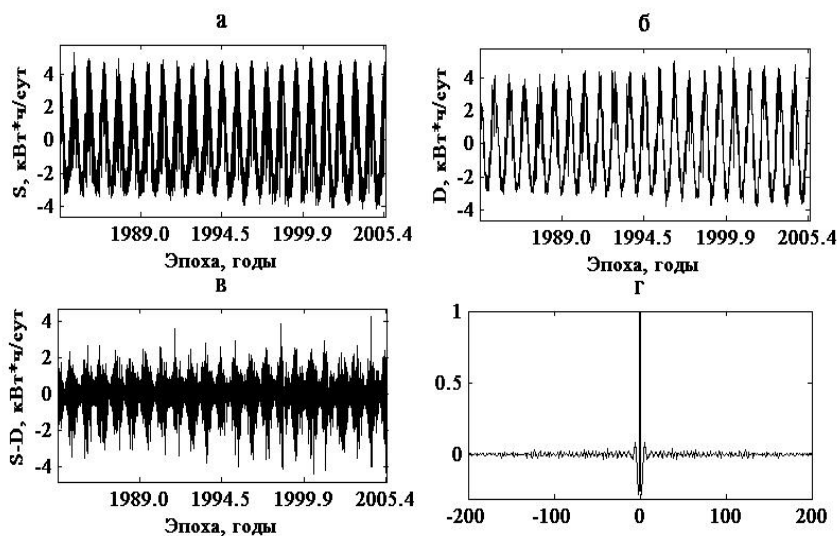


Рис. 7. Приведены графики:

а – исходные данные S (тренд удалён); б – данные D (после удаления ненормированного "белого шума" из S); в – разности (S-D); г – автокорреляции (данные S-D). Графики получены методом вейвлет-анализа (вейвлеты 'haar')

Выберем порядок n модели (5), исходя из статистического анализа расхождений между моделью и данными D . Результаты вычисления статистических оценок расхождений между моделью и данными D приведены в табл. 1. В столбцах табл. 1 приведены: 1 – имя модели; 2 – сумма квадратов ошибок модели (Sum of Squared Errors, SSE); 3 – коэффициент детерминации R^2 сравнивает дисперсию предсказываемой величины с дисперсией ошибок; 4 – скорректированный R^2 , в котором используются несмещённые оценки дисперсий, позволяет сравнивать модели с разным числом факторов; 5 – среднеквадратичная ошибка (Root Mean Square Error, RMSE) показывает, насколько точно используемая мо-

дель позволяет приблизить последовательность данных D ; 6 – степень свободы в ошибке, DEF; 7 – количество коэффициентов в модели.

Результаты статистических оценок в табл. 1 не существенно изменяются с ростом порядка модели. Поэтому при выборе модели возможных периодических колебаний в данных D используем результаты вейвлет-анализа (рис. 6) и условие наименьшего количества коэффициентов в соответствии с требованиями статистики, чтобы избежать переопределения. Графики моделируемой последовательности данных, её приближение с помощью модели S6 и не учтённые моделью отклонения приведены на рис. 8.

Таблица 1

Статистические оценки расхождений между моделью и данными D

Имя модели	SSE	R ²	Скоординированный R ²	RMSE	DEF	Количество коэффициентов
S1	4875	0.8839	0.8838	0.7790	8033	3
S2	4717	0.8876	0.8875	0.7664	8030	6
S3	4477	0.8933	0.8932	0.7468	8027	9
S4	4466	0.8936	0.8934	0.7461	8024	12
S5	4420	0.8947	0.8945	0.7424	8021	15
S6	4413	0.8949	0.8946	0.7419	8018	18
S7	4368	0.8959	0.8957	0.7382	8015	21
S8	4334	0.8967	0.8964	0.7355	8012	24

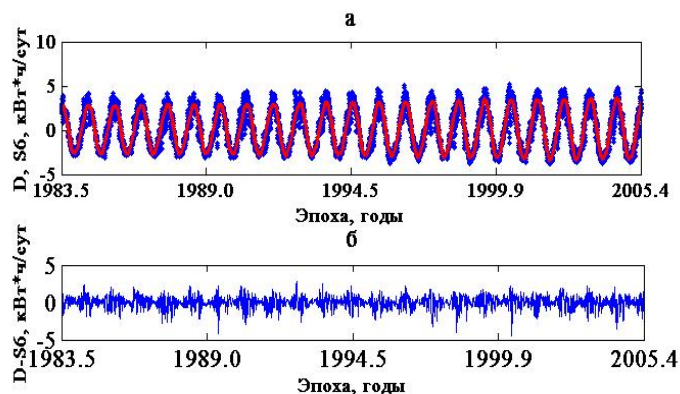


Рис. 8. Графики среднесуточных данных об инсоляции:

а – последовательность D (звёздочки (*), удалён ненормированный "белый шум" и тренд) и S6, последовательность данных, вычисленных по модели S6 (сплошная линия); б – последовательность разностей D-S6

Анализ параметров периодических составляющих s1, s2, s3, s4, s5, s6 модели S6 выделяет два наиболее мощных колебания s1 и s4 (рис. 9) с близкими периодами 365,3 и 365,7 суток. Параметры составляющих модель S6 колебаний приведены в табл. 2.

Анализ амплитуд, составляющих модели S6 (см. табл. 2) показывает, что характер периодического процесса в данных D определяется двумя колебаниями с близкими периодами (частотами).

Таблица 2

Параметры периодических колебаний в данных об инсоляции падающей на поверхность земли в пункте Карадаг (модель S6)

Составляющие модели S6 (кВт*ч/сут)	Периоды, P (сутки)	Амплитуды, кВт*ч/м ² /сут	c _m (рад)
s1	365,3015	6,34	0,7667
s2	182,1741	0,2031	0,1069
s3	344,6618	0,07307	1,501
s4	365,7267	4,854	-2,77
s5	87,2301	0,1065	1,666
s6	402,2526	0,04031	0,644

Сложный процесс наложения двух близких по частоте колебаний проявляется в росте амплитуды суммарного колебания (рис. 8).

Вейвлет-анализ частотно-временной характеристики разностей D-S6 на рис. 10 исключает возможность

существования не учтённых моделью стационарных, периодических на рассматриваемом интервале, колебаний. В то же время, после 1995 года появляется кратковременное мощное колебание, локализующееся в области высоких частот. Аналогичное явление наблюдается в области низких частот после 1986 года.

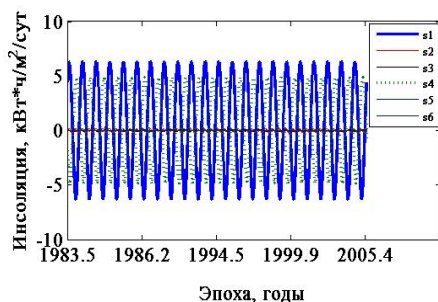


Рис. 9. Графики составляющих модели S6

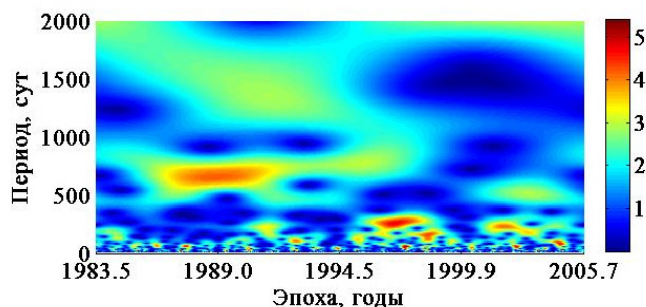


Рис. 10. Частотно-временная характеристика разностей D-S6. Вейвлет-преобразование (вейвлеты 'morl')

Установление когерентных связей, статистические авторегрессионные (АР) модели.

В анализе когерентных связей использовался метод спектральных оценок, обладающих высокой способностью для ограниченных последовательностей данных (Марпл, 1990). Согласно этому методу установление взаимной корреляции между двумя (одноканальными) процессами заключается в вычислении функции взаимной (двухканальной) спектральной плотности мощности, которая представляет собой дискретно-временное преобразование Фурье взаимной корреляционной функции в виде

$$P_{xy}(f) = T \sum_{k=-\infty}^{+\infty} r_{xy}[k] \exp(-j2\pi f k T), \quad (6)$$

$$F_{xy}(f) = P_{xy}(f) / \sqrt{P_{xx}(f)} \sqrt{P_{yy}(f)}, \quad (7)$$

где x , y – одноканальные процессы, f – частота, T – интервал времени.

Учитывая (6) и (7) для измерения сходства (как функции частоты) двух сигналов, вычисляем квадрат модуля когерентности (КМК) в виде

$$КМК(f) = |F_{xy}(f)|^2 \quad (8)$$

и фазовый спектр когерентности

$$\theta(f) = \arctg \left[\operatorname{Im} \{ F_{xy}(f) \} / \operatorname{Re} \{ F_{xy}(f) \} \right]. \quad (9)$$

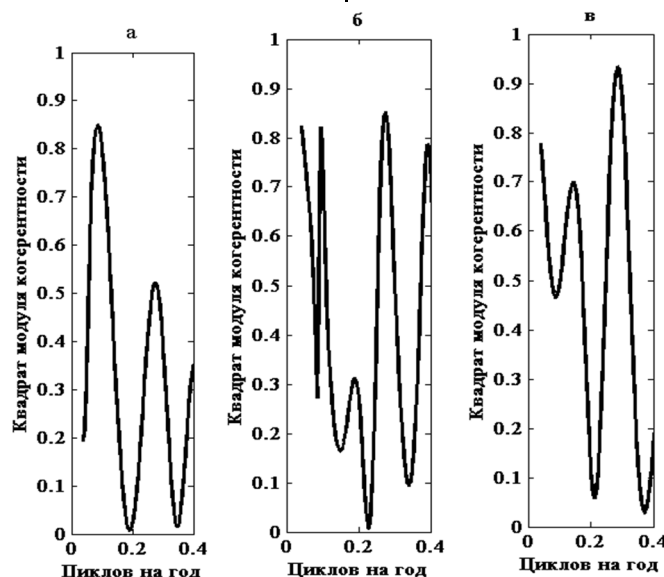


Рис. 11. Когерентность между вариациями в среднегодовых данных об инсоляции, падающей на поверхность Земли в пункте "Карадаг" и вариациями в среднегодовых данных:

а – о длительности суток (LOD), б – о числах солнечных пятен (Вольфа), в – об индексах глобальной температуры

Величины КМК (8) заключены между 0 (для частот, на которых отсутствует когерентность между каналами) и 1 (для частот, на которых каналы полностью когерентные). Фаза когерентности (9) характеризует отставание или опережение по фазе события в канале x по отношению к событию в канале y .

Этим методом нами проведен двухканальный АР-анализ когерентности. В результате установлены существенные когерентности между вариациями в среднегодовых данных об инсоляции, падающей на поверхность земли в пункте "Карадаг", и вариациями в среднегодовых данных: длительности суток (LOD) с периодом 11,8 лет и КМК = 0,85 для АР-модели порядка IP = 6 (рис. 11, а); чисел солнечных пятен (числа Вольфа) с периодами 10,5, 3,6 лет и КМК = 0,8 и 0,85 соответственно для АР-модели порядка IP = 7 (рис. 11, б); об индексах изменения глобальной температуры с периодами 2,3, 3,5 лет и КМК = 0,7 и 0,9 соответственно для АР-модели порядка IP = 7 (рис. 11, в).

Кроме того, на рис. 11 обнаруживается рост функции когерентности (КМК) в области низких частот (больших периодов), которые не представляется достоверно выявить из-за ограниченной длительности временного интервала сопоставляемых данных.

Выводы. 1. Предсказуемые изменения солнечной инсоляции, падающей на поверхность земли в пункте "Карадаг", описаны периодическими функциями, построена синусоидальная модель, приближающая периодические изменения в спутниковых измерениях инсоляции в этом пункте.

В структуре модели, состоящей из шести синусоид, выделяются два наиболее мощных колебания с близкими периодами 365,3 и 365,7 суток. Сложение этих колебаний, смещённых по фазе, приводит к постепенному увеличению амплитуды суммарного колебания на рассматриваемом интервале времени (рис. 8), что является закономерным процессом, который наблюдается в данных об инсоляции поверхности Земли в других пунктах Крыма. Отличие состоит в том, что после удаления периодических колебаний в данных об инсоляции поверхности Земли в пункте "Карадаг" остаются следы кратковременных энергетических воздействий в области низких частот после 1986 и 1995 годов. Кроме того, общий уровень инсоляции, падающей на поверхность Земли в пункте "Карадаг", выше (см. рис. 1 и 4), чем в остальных пунктах Крыма.

Учитывая прошлое Карадага, (ретро)вулкан есть основание связать происхождение энергетического притока с локальными геологическими особенностями поверхности и локальными структурами внутри Земли в этом пункте. События, вызвавшие кратковременный приток энергии после 1986 и после 1995 годов, предполагается, связаны с воздействием кратковременных космических явлений (кометы, парад планет и др.).

2. С целью анализа статистической связи изменений локальной инсоляции поверхности земли с вращением Земли вокруг оси и её движением по орбите, солнечной активностью и глобальной температурой, были вычислены авторегрессионные модели спектральной плотности мощности, с помощью которых установлены когерентные колебания между вариациями в данных об

инсоляции поверхности земли в пункте "Карадаг" и вариациями в данных: о длительности суток (LOD) с периодом 11,8 лет и квадратом модуля когерентности 0,85; о солнечной активности с периодами 10,5, 3,6 лет и квадратом модуля когерентности 0,8 и 0,85; об индексах глобальной температуры с периодами 2,3, 3,5 лет и квадратом модуля когерентности 0,7 и 0,9 соответственно. Предполагается, что при некоторых соотношениях между подобными вариациями, даже при отсутствии физической связи между ними, появляются резонансные увеличения амплитуд.

Гелиогеофизические процессы воздействуют на атмосферу и происходящие в ней динамические процессы. Устойчивая периодичность этих процессов помогает решать задачи прогноза глобальных и локальных событий.

3. Наша планета представляет собой открытую, неравновесную, самоорганизующуюся сложную систему (Anderson, 2002), подсистемами которой являются многочисленные оболочки – геосферы.

Все геологические и геодинамические процессы характеризуются циклической повторяемостью характерных для них событий. Сложное взаимодействие близких по частоте циклов в различных геосферах могут вызывать резонансные явления с увеличением амплитуды суммарного колебания, как это имеет место в нашем случае (рис. 8, 9). Повторяемость этого события также характеризуется циклическостью.

Существует гипотеза о генерации этих циклов неким универсальным космическим механизмом их возникновения (Карпенко, 2004). Поиск такого механизма представляет собой одну из важных задач будущего науки.

4. Обнаруженный нами повышенный рост инсоляции и температуры земли в пункте "Карадаг" требует дополнительных исследований и наблюдений.

Список использованной литературы

- Авсюк, Ю. Н. (1996). Приливные силы и природные процессы. Объединенный институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН. Москва.
- Берри, Б. Л. (1991). Синхронные процессы в оболочках Земли и их космические причины. *Вестник МГУ*, 5(1), 20-27.
- Берри, Б. Л. (1993). Периодичность геофизических процессов и ее влияние на развитие литосферы. *Эволюция геологических процессов в истории Земли*. Под ред. Н.П. Лаврова. Москва: Наука, 53-62.
- Белов, С. В., Шестопалов, И. П. (2011). Пространственно-временные закономерности главных проявлений эндогенной активности Земли и их связь с солнечной и геомагнитной активностью. *Спутниковые чтения*. Москва. Получено [cinfm1.sai.msu.ru/grav/russian/life/cheniya/2011.htm](http://www.sai.msu.ru/grav/russian/life/cheniya/2011.htm).
- Кондратьев, К. Я., Крапивин, В. Ф., Савиных, В. П. (2003). Перспективы развития цивилизации: многомерный анализ. Москва: Логос.
- Курбасова, Г. С., Вольвач, А. Е. (2014). Вейвлет-анализ наземных и космических измерений локальной инсоляции. *Космическая наука и технология*, 20 (4), 42-49.
- Кондарак, В. Х. (1873). Универсальное описание Крыма. Ч. 1. Николаев.
- Карпенко, И. В. (2004). Физическая природа циклов Вилсона, Бертрана, Штилле. *Материалы 37-го тект. совещания "Эволюция тектонических процессов в истории Земли"*. Новосибирск, 217-220.
- Михеев, А. П. Береговой, А. М., Петрянина, Л. Н., (2002). Проектирование зданий и застройки населенных мест с учетом климата и энергосбережения. Учеб. пособие. Москва: АСВ.
- Марпл, С. Л. (1990). Цифровой спектральный анализ и его приложения. Москва: Мир.
- Пабат, А. А. (2006). Глобальные изменения климата: антропогенная и космогенная концепции. *Энергия*, 7, 42-46.
- Паллас, П. С. (1795). Краткое физическое и топографическое описание Таврической области. Санкт-Петербург: Императорская типография.
- Сонечкин, Д. М., Даченко, Н. М., Иващенко, Н. Н. (1997). Оценка тренда глобального потепления с помощью вейвлетного анализа. *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*, 33(2), 184-194.
- Федулов, К. В., Астафьева, К. В. (2008). Структура климатических изменений по палеоданным и данным инструментальной эпохи. Институт космических исследований Российской академии наук, Пр-2150.
- Aoki, S., Guinot, B., Kaplan, G. H., Kinoshita, H., McCarthy, D. D., Seidelmann, P. K. (1982). The new definition of universal time. *Astron. Astrophys.*, 105 (2), 359-361.
- Anderson, D. L. (2002). Plate tectonics as a far from equilibrium selforganized system. *AGU Geodynam.*, 30, 1-22.
- Daubechies, I. (1992). Ten Lectures on Wavelets. Philadelphia, PA: Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM).

Farge, M. (1992). Wavelet Transforms and Their Application to Turbulence. *Ann. Rev. Fluid. Mech.*, 24, 395-457.

Global Land – Ocean Temperature Index. (n.d.). Получено с URL <http://data.giss.nasa.gov/>

IERS, Earth Orientation Center. (n.d.). Получено с URL: <https://datcenter.iers.org/eop/>

Kurbasova, G. S., Vovach, A. E. (2014). The insolation anomalies on the Crimean peninsula with observations from space. *CriMiCo2014, Conference Proceedings*. Sevastopol: Weber Publishing, 2, 1085-1086.

Mallat, S. A. (1998). Wavelet Tour of Signal Processing. San Diego, CA: Academic Press, Program MATLAB/R2011b.

Surface meteorology and Solar Energy – A renewable energy resource web site (release 6.0) sponsored by NASA's Applied Science Program in the Science Mission Directorate developed by POWER: Prediction of Worldwide Energy Resource Project. (2018). Получено с URL: <https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>.

Sun, W. (2010). Convergence of Morlet's Reconstruction Formula, *preprint*.

Table Data: SIDC – Solar Influences Data Center. (2018). Получено с URL: <http://www.sidc.be/silo/datafiles>.

Torrence, C., Compo, G. P. (1998). A Practical Guide to Wavelet Analysis. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 79, 61-78.

References

- Anderson, D. L. (2002). Plate tectonics as a far from equilibrium selforganized system. *AGU Geodynam.*, 30, 1-22.
- Aoki, S., Guinot, B., Kaplan, G. H., Kinoshita, H., McCarthy, D. D., Seidelmann, P. K. (1982). The new definition of universal time. *Astron. Astrophys.*, 105 (2), 359-361.
- Avsyuk, Yu. N. (1996). Prilivnye sily i prirodnye protsessy. Ob'edinenyy institut fiziki Zemli im. O.Yu. Shmidta RAN. Moskva. [In Russian]
- Belov, S. V., Shestopalov, I. P., (2011). Prostranstvenno-vremennye zakonomernosti glavnykh proyavleniy endogennoy aktivnosti Zemli i ikh svyaz' s solnechnoy i geomagnitnoy aktivnost'yu. *Sagitovskie chteniya*. Moskva. Retrieved from [infm1.sai.msu.ru/grav/russian/life/cheniya/2011.htm](http://www.sai.msu.ru/grav/russian/life/cheniya/2011.htm). [In Russian]
- Berri, B. L. (1991). Sinkhronnye protsessy v obolochkakh Zemli i ikh kosmicheskie prichiny. *Vestnik MGU*, 5(1), 20-27. [In Russian]
- Berri, B. L. (1993). Periodichnost' geofizicheskikh protsessov i ee vliyaniye na razvitiye litosfery. *Evolutsiya geologicheskikh protsessov v istorii Zemli*. N.P. Laverova (eds.). Moskva: Nauka. [In Russian]
- Daubechies, I. (1992). Ten Lectures on Wavelets. Philadelphia, PA: Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM).
- Farge, M. (1992). Wavelet Transforms and Their Application to Turbulence. *Ann. Rev. Fluid. Mech.*, 24, 395-457.
- Fedulov, K. V., Astafyeva, K. V. (2008). Struktura klimaticeskikh izmeneniy po paleodannym i dannym instrumental'noy epokhi. Institut kosmicheskikh issledovaniy Rossiyskoy akademii nauk, Pr-2150. [In Russian]
- Global Land – Ocean Temperature Index. (n.d.). Retrieved from URL <http://data.giss.nasa.gov/>
- IERS, Earth Orientation Center. (n.d.). Retrieved from URL: <https://datcenter.iers.org/eop/>
- Karpenko, I. V. (2004). Fizicheskaya priroda tsiklov Vilsona, Bertrana, Shtille. *Materialy 37-go tekt. soveshchaniya "Evolutsiya tektonicheskikh protsessov v istorii Zemli"*. Novosibirsk, 217-220. [In Russian]
- Kondarak, V. Kh. (1873). Universal'noe opisanie Kryma. P. 1. Nikolaev. [In Russian]
- Kondrat'yev, K. Ya., Krapivin, V. F., Savinykh, V. P. (2003). Perspektivy razvitiya tsivilizatsii: mnogomernyy analiz. Moskva: Logos. [In Russian]
- Kurbasova, G. S., Vovach, A. E. (2014). The insolation anomalies on the Crimean peninsula with observations from space. *CriMiCo2014, Conference Proceedings*. Sevastopol: Weber Publishing, 2, 1085-1086.
- Kurbasova, G. S., Vovach, A. E. (2014). Veyvlet-analiz nazemnykh i kosmicheskikh izmereniy lokal'noy insolyatsii. *Kosmicheskaya nauka i tekhnologiya*, 20 (4), 42-49. [In Russian]
- Mallat, S. A. (1998). Wavelet Tour of Signal Processing. San Diego, C. A: Academic Press, Program MATLAB/R2011b.
- Marpl, S. L. (1990). Tsifrovoy spektral'nyy analiz i ego prilozheniya. Moskva: Mir. [In Russian]
- Mikheev, A. P. Beregovoy, A. M., Petryanina, L. N., (2002). Proektirovaniye zdaniy i zastroyki naselennykh mest s uchetoм klimata i energosberezheniya. Ucheb. posobie. Moskva: ASV. [In Russian]
- Pabat, A. A. (2006). Global'nye izmeneniya klimata: antropogennaya i kosmogennaya kontseptsii. *Energiya*, 7, 42-46. [In Russian]
- Pallas, P. S. (1795). Kраткое физическое i topograficheskoe opisanie Tavricheskoy oblasti. Sankt-Peterburg: Imperatorskaya tipografiya. [In Russian]
- Sonechkin, D. M., Datsenko, N. M., Ivashchenko, N. N. (1997). Otsenka trenda global'nogo potepleniya s pomoshch'yu veyvletnogo analiza. *Izv. RAN. Fizika atmosfery i okeana*, 33(2), 184-194. [In Russian]
- Sun, W. (2010). Convergence of Morlet's Reconstruction Formula, *preprint*.
- Surface meteorology and Solar Energy – A renewable energy resource web site (release 6.0) sponsored by NASA's Applied Science Program in the Science Mission Directorate developed by POWER: Prediction of Worldwide Energy Resource Project. (2018). Retrieved from URL: <https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>.
- Table Data: SIDC - Solar Influences Data Center. (2018). Retrieved from URL: <http://www.sidc.be/silo/datafiles>.
- Torrence, C., Compo, G. P. (1998). A Practical Guide to Wavelet Analysis. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 79, 61-78.

A. Volvach, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Senior Scientific Researcher,
E-mail: volvach@meta.ua;
G. Kurbasova, PhD (Phys.-Math.), Senior Scientific Researcher,
E-mail: gskurb@gmail.com

MODEL OF INSOLATION OF THE EARTH SURFACE IN THE KARA-DAG LOCALITY ACCORDING TO SSE DATA

Anomalous enhancement of solar insolation of the earth's surface in the presence of foci of excitation in its depths can cause a response at local sites. Such foci include, first of all, recent and past (retro) volcanoes, such as the ancient volcano on the territory of Kara-Dag in the Crimea. The authors of this article have found increased, in comparison with other localities of the Crimea, general insolation according to SSE. According to the 22-year linear trend, the rate of insolation growth falling on the earth's surface at Kara-Dag has been calculated, which is 2,69 kWh/m² per century, being more than 2 times higher than insolation growth in other areas of the Crimea. This phenomenon has been the subject of discussion, and additional research is needed, both on the geological structure of Kara-Dag and on the impact of external and internal forces.

At the stage of studying the structure of data on insolation of the earth's surface at Kara-Dag, we have built a 6-order sine-wave model. The most powerful (amplitudes more than an order of magnitude higher than the noise level) regular oscillations on the 22-year interval have periods of 365,3 and 365,7 days. Statistical estimates of the degree of approximation by a sinusoidal model ($R^2 = 0,9$, $RMSE = 0,7$) indicate that, in addition to regular periodic oscillations, there are irregular fluctuations in the data at time intervals determined by a continuous time-frequency wavelet analysis. The wavelet transformation graph highlights the interval of insolation energy growth at Kara-Dag locality after 1995. In order to analyze the statistical relationship of changes in local insolation of the Earth's surface with the Earth's rotation around the axis and its orbital movement, solar activity and global temperature, autoregression models of the power spectral density were calculated using which coherent oscillations were found between variations in Kara-Dag paragraph and variations in the data: on the length of the day (LOD) with a period of 11,8 years and a square modulus of coherence of 0,85; about solar activity with periods of 10,5, 3,6 years and a squared coherence modulus of 0,8 and 0,85; about global temperature indices with periods of 2,3, 3,5 years and squares of coherence modulus 0,7 and 0,9, respectively.

The increased growth of insolation and the temperature of the earth at Kara-Dag locality that we found requires additional research and observations.

Keywords: Earth, insolation, Crimea, satellites.

О. Вольвач, д-р фіз.-мат. наук, старш. наук. співроб.
E-mail: volvach@meta.ua;
Г. Курбасова, канд. фіз.-мат. наук, старш. наук. співроб.
E-mail: gskurb@gmail.com

МОДЕЛЬ ИНСОЛЯЦИИ ПОВЕРХНИ ЗЕМЛИ В ПУНКТИ "КАРАДАГ" ЗА ДАНИМИ SSE

Аномальне посилення сонячної інсоляції поверхні землі при наявності в її надрах очагів збудження може викликати в локальних пунктах відповідну реакцію. До таких очагів відносяться, перш за все, недавні і минулі (ретро) вулкани, такі як прадавній вулкан на території Карадагу в Криму. Авторами цієї статті було виявлено підвищену, в порівнянні з іншими пунктами Криму, загальну інсоляцію за даними SSE. За даними 22-річного лінійного тренда обчислена швидкість росту інсоляції, падаючої на поверхню землі в пункті "Карадаг", яка становить 2,69 кВт·рік/м² за сторіччя, що більш ніж у два рази перевищує зростання інсоляції в інших районах Криму. До теперішнього часу це явище є предметом дискусій і потрібні додаткові дослідження, як геологічної структури Карадагу, так і впливу з боку зовнішніх і внутрішніх земних сил.

На етапі вивчення структури даних про інсоляцію поверхні землі у пункті "Карадаг" нами побудовано синусоїдальну модель 6-го порядку. Найбільш потужні (амплітуди більш ніж на порядок перевищують рівень шуму) регулярні на 22-річному інтервалі коливання мають періоди рівні 365,3 і 365,7 діб. Статистичні оцінки ступеня наближення синусоїдальною моделлю ($R^2 = 0,9$, $RMSE = 0,7$) зазначають, що, крім регулярних періодичних коливань, у даних присутні нерегулярні коливання на інтервалах часу, які визначаються за допомогою безперервного частотно-часового вейвлет аналізу. На графіку вейвлет перетворення виділяється інтервал енергетичного зростання інсоляції в пункті "Карадаг" після 1995 року. З метою аналізу статистичного зв'язку змін локальної інсоляції поверхні землі з обертанням Землі навколо осі та її рухом по орбіті, сонячною активністю і глобальною температурою були обчислені авторегресивні моделі спектральної щільності потужності, за допомогою яких установлені когерентні коливання між варіаціями в даних про інсоляцію поверхні Землі в пункті "Карадаг" і варіаціями в даних: про тривалість доби (LOD) з періодом 11,8 років і квадратом модуля когерентності 0,85; про сонячну активність з періодами 10,5, 3,6 років і квадратом модуля когерентності 0,8 і 0,85; про індекси глобальної температури з періодами 2,3, 3,5 років і квадратом модуля когерентності 0,7 і 0,9 відповідно.

Виявлений нами підвищений ріст інсоляції й температури землі в пункті "Карадаг" вимагає додаткових досліджень і спостережень.

Ключові слова: Земля, інсоляція, Крим, супутники.

УДК 550.382.3

О. Круглов¹, канд. геол. наук, старш. наук. співроб.

E-mail: alex_kruglov@ukr.net;

О. Меньшов², д-р геол. наук, старш. наук. співроб.

E-mail: menshov.o@ukr.net;

П. Назарок¹, наук. співроб.;Л. Коляда¹, пров. інж.;В. Коляда¹, канд. сільгосп. наук;А. Ачасова¹, канд. біол. наук, доц., старш. наук. співроб.¹ІНЦ "Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського"

вул. Чайковська, 4, Харків, Україна

²Київський національний університет імені Тараса Шевченка

ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, Київ, 03022, Україна

МАГНІТНА СПРИЙНЯТЛИВІСТЬ ҐРУНТІВ У СКЛАДІ ЕРОЗІЄЗНАВЧИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

(Представлено членом редакційної колегії д-ом фіз.-мат. наук, проф. П. О. Міненком)

Водна ерозія ґрунтового покриву є основним чинником деградації сільськогосподарських земель в Україні. Додаткового захисту потребують близько 13 млн га ріллі. Вивчення впливу цього процесу цікавить не тільки науковців, а й землекористувачів. Мета даної роботи – показати інформативність застосування магнітної сприйнятливості (МС) ґрунту в ерозієзнавчих дослідженнях порівняно з традиційними методами. Дослідження проводились на території ФГ "Фенікс" Близнюківського району Харківської області в 6 км на південний схід від м. Лозова. Ділянка досліджень є виробничою, що використовується в рослинництві. Рельєф ділянки ускладнений розвинутою балковою мережею. Ґрунтовий покрив – чорнозем звичайний важкосуглинистий. Отримано високий ступінь зв'язку між МС чорнозему звичайного та вмістом гумусу. Значення коефіцієнта кореляції Спірмена цих показників слабо залежить від частотного коефіцієнта МС. Результати дозволяють рекомендувати МС для заміни та доповнення значно вартіснішого визначення вмісту гумусу. Зв'язок МС і значення потенційних втрат ґрунту в даному дослідженні низький. Дослідження магнітної мінералогії підтвердили відсутність техногенного забруднення ґрунтів на основі значень частотної залежності магнітної сприйнятливості вище за 6. Превалювання суперпарамагнітних зерен розміром менше 20 нм підтверджується значеннями частотної залежності магнітної сприйнятливості 10–20. Такі магнетики формуються в режимі реального часу в процесі ґрунтоутворення.

Ключові слова: ґрунти, магнітна сприйнятливість, ерозія.

Вступ. Водна ерозія ґрунтового покриву є основним чинником деградації сільськогосподарських земель в Україні. Додаткового захисту потребують близько 13 млн га ріллі. Вивчення впливу цього процесу цікавить не тільки науковців, а й землекористувачів у межах становлення ринку земель сільськогосподарського призначення – фактичних і потенційних землевласників, як база оподаткування та фактор продовольчої безпеки – фіскальні та владні органи. Певний інтерес виявляють землевпорядники та екологи.

Дослідження ерозійних процесів сільськогосподарських ґрунтів на локальному рівні базуються на двох основних напрямках: порівняння потужності ґрунтового профілю та розподіл умісту гумусу у верхньому горизонті ґрунтового покриву. Їхнє використання у складі ерозієзнавчих досліджень має суттєві вади, пов'язані з високою вартістю та трудомісткістю досліджень. Низька густина мережі опробувань, недостатня точність і достовірність отриманих результатів, похибки при інтерполяції та екстраполяції опорних розрізів – лише деякі з методичних проблем сучасного ерозієзнавства. Застосування ж численних математичних моделей ерозії дає суттєві неточності, пов'язані зі змінами функціональності агролісомеліоративної системи та появою нової польової інфраструктури, мозаїчністю землекористування.

Одним із розв'язання проблеми є застосування методів і засобів інших наук, що характеризуються нижчими витратами ресурсів, ніж традиційні. Останнім часом чільне місце в ерозійних дослідженнях посіло використання даних про різні види магнітної сприйнятливості (МС або MS в іноземних джерелах) верхнього шару ґрунтового покриву (Круглов та ін., 2018). Ці результати можуть бути, крім основного призначення, використані для потреб геологічної галузі в рамках концепції "геофізики подвійного призначення" (Меньшов та Сухорада, 2017).

Мета даної роботи – показати інформативність застосування МС ґрунту в ерозієзнавчих дослідженнях порівняно з традиційними методами.

Стан проблеми сучасних магнітних досліджень ґрунтів. Сучасні магнітні дослідження ґрунтового покриву розвиваються у декількох прикладних напрямках:

забруднення довкілля, сільське господарство та ґрунтознавство, пошуки корисних копалин (у першу чергу, вуглеводнів), археологія. Проаналізуємо деякі найновіші публікації в даній сфері, результати яких є важливими для підвищення ефективності інтерпретації отриманих нами результатів у запропонованій статті.

У своїй роботі (Barbosa *et al.*, 2019) автори здійснили просторову оцінку ерозії ґрунту як необхідну складову сільськогосподарського моніторингу втрат ґрунту. Було оцінено ефективність магнітної сприйнятливості для прогнозу ерозії ґрунту (моделі USLE та WEPP) з використанням аналізу оксидів з різним вмістом заліза в північно-східній частині Сан-Паулу, Бразилія. Результати (Radaković *et al.*, 2019) надали нові докази взаємозв'язку між опадами, температурою, опустеленням і магнітними властивостями сучасних ґрунтів. Отримані та проаналізовані дані можуть допомогти в майбутньому у створенні дієвої моделі кліматичних змін на основі експресних магнітних аналізів. Публікація (Ayoubi *et al.*, 2019) демонструє результати оцінки використання магнітної сприйнятливості з метою ідентифікації концентрацій металів у ґрунтах, що сформувалися на різній материнській основі на північному заході Ірану. Результати показали, що найвищі кореляційні залежності фіксуються між магнітною сприйнятливістю та вмістом металів для основних і ультраосновних ґрунтів. Еолові процеси (ерозія, транспортування та перевідкладення) відіграють важливу геоморфологічну та екологічну роль у засушливих районах. Результати (Ravi *et al.*, 2019) свідчать про просторово однорідний розподіл магнітних параметрів у ландшафті після пожежогошіння. МС зменшувалася під впливом вітрової ерозії в місцях спалених чагарників, що свідчить про те, що ці ділянки функціонували як джерела накопичення матеріалів після лісових пожеж. Водночас відомо, що пожежі сприяють поглинанню осадків у непорушній екосистемі. Крім того, важливими є дослідження накопичення техногенних мінералів (Petlovanyi *et al.*, 2019; Tabachenko *et al.*, 2016). Метою досліджень (Santoso *et al.*, 2019) стало визначення кореляції між pH і магнітною сприйнятливістю для подальшого аналізу родючості продуктивних земель навколо Інституту Суматера (Індонезія).

Автори дійшли висновку, що, як правило, магнітна сприйнятливість зростає при збільшенні значення рН. У контексті визначення антропогенного навантаження на ґрунтовий покрив важливими є результати (Govedarica et al., 2019). Запропонований авторами статистичний підхід значно спрощує аналіз лесового профілю як індикатора забруднення, а також може служити для оцінки надзвичайно високих значень магнітної сприйнятливості під впливом невеликого збільшення вмісту важких металів, органічного вуглецю та розподілу гранулометричного складу.

Методи досліджень включають визначення питомої МС ґрунту за допомогою капамістка KLY-2 та капаметра MS-2 за методикою (Evans and Heller, 2003). Маса зразка визначалася за допомогою електронних ваг Ohaus 402. Проводилось визначення вмісту органічного вуглецю (з подальшим перерахунком у гумус) за ДСТУ ISO 14235:2005. Візуалізація результатів дослідження проводилась у середовищі ArcGis. Проведено статистичний

аналіз результатів за допомогою стандартного програмного пакета. Відбір проб ґрунту проводився з верхнього шару ґрунту (за винятком розрізів) із двох профілів. Для складання попереднього плану проведення дослідів було визначено показники яскравостей у червоному B4 та ближньому інфрачервоному B8 каналах спектра та спектрального індексу NDVI. Також було визначено потенційні втрати ґрунту від водної ерозії за ДСТУ 7904:2015.

Об'єкт досліджень. Дослідження проводились на території ФГ "Фенікс" Близнюківського району Харківської області в 6 км на південний схід від м. Лозова. Ділянка досліджень являє собою виробничу ділянку, що використовується у рослинництві. Рельєф ділянки ускладнений розвинутою балковою мережею. Ґрунтовий покрив – чорнозем звичайний важкосуглинистий. Загальний вид і схема розміщення дослідної ділянки подано на рис. 1.

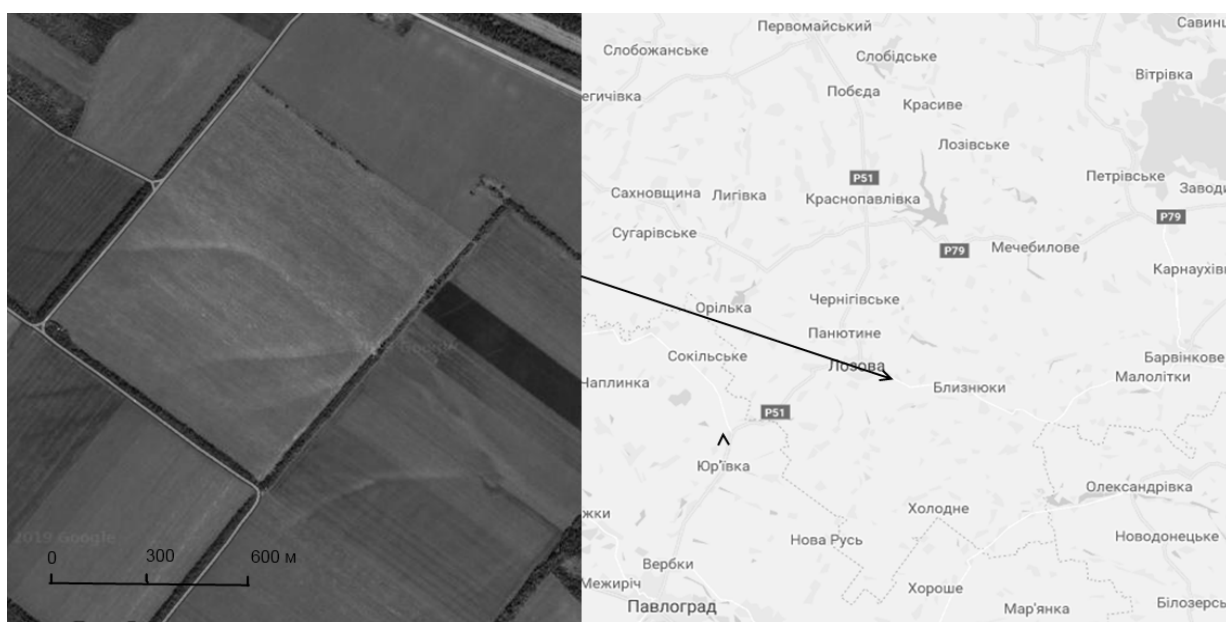


Рис. 1. Загальний вигляд території дослідження

Результати та їхнє обговорення. Розглянемо теоретичні передумови досліджень, які використовувалися нами для реалізації експериментальних робіт. Заміна вартісних і працездатних агрохімічних і педоморфологічних визначень, загущення сітки ґрунтових опробувань в ерозієзнавчих дослідженнях проводиться цілою низкою методів, серед яких виділяються геопросторове магнітне обстеження (Byndych, 2017; Truskavetsky et al., 2015) та магнітні методи (Ventura, 2001). Їхнє застосування пов'язано з високою кореляцією між яскравістю ґрунту і різними видами магнітної сприйнятливості та вмістом гумусу. Особливо слід відзначити використання саме даних про магнітну сприйнятливість ґрунтів, що поволяє застосовувати загальнопоширений метод. Високий зв'язок між цим показником і вуглецем ґрунту на рівні $R^2 = 0,83$ отримано для тропічних ґрунтів (de Souza Bahia et al., 2017) і $R^2 = 0,89$ для ґрунтів Чехії (Kapicka et al., 2013; Jakšik et al., 2016), показано можливість кількісної оцінки втрат ґрунтів у північному Китаї (Yue et al., 2019) та Англії (Royall, 2001). Використання значень МС та їхньої частотної залежності дозволили отримати можливість ідентифікації зон ерозії – акумуляції (Liu et al., 2018). Більшість таких досліджень проводиться за умов неускладненого рельєфу. Високі значення зв'язку між вмістом гумусу в ґрунтах, питомої МС і результатів математичного

моделювання ерозійних процесів було показано нами для простих схилів (Menshov et al., 2018).

Більш складним є визначення проявів ерозійних процесів на ускладненому рельєфі. Математичні моделі ерозії у зв'язку зі загущеним чергуванням зон змиву та акумуляції часто дають неоднозначні результати. Головним інструментом у цих випадках залишається наземна зйомка та ґрунтове обстеження.

При виконанні даного дослідження нами було задіяно всі основні методи, що застосовуються ерозієзнавцями в Україні. Першим кроком стало складання карти-версії для визначення схеми дослідів. Було використано два підходи: аналіз даних космічного зондування та математичне моделювання втрат ґрунту за методикою Ц. Е. Мірчулави. Результати відображено на рис. 2.

За результатами попередніх досліджень було прийнято рішення про порівняння методів ерозієзнавчих досліджень за системою двох профілів, що проходять через усі виявлені категорії втрат ґрунту та спектрального індексу. Розташування точок відбору подано на рис. 2, а. У точках 16 та 33 було виконано два ґрунтові розрізи глибиною 120 см. Результати їхніх обстежень свідчать про відсутність аномалій, зумовлених ґрунтоутворюючою породою або перебігом педогенезу.

Відібрані проби ґрунту було транспортовано до лабораторії, де й проводились визначення їхніх хімічних і магнітних характеристик. Першим було проаналізовано зв'язок спектральних індексів і головного агрохімічного показника – вмісту гумусу. При $N = 33$ та $p < 0,05$ коефіцієнт кореляції між спектральним індексом NDVI, показниками яскравості в червоному B4 та ближньому інфрачервоному B8 каналах спектра становили відповідно 0,36, –0,63 та –0,08. Найбільш перспективним за результатами досліджує застосування даних каналу B4, хоча це й потребує додаткових уточнень. Не

відзначено також надійного зв'язку між показником потенційної втрати ґрунту, визначеної за ДСТУ 7904 та даними дистанційного зондування. Показники кореляції становлять відповідно –0,29, 0,28 та 0,08, що є навіть слабкішим за їхній зв'язок із вмістом гумусу.

Свого часу нами було продемонстровано високий ступінь зв'язку вмісту гумусу та МС чорноземних ґрунтів, визначеного за допомогою капамістка KLY-2 (Menshov et al., 2018; Кружлов, 2012; Назарок та ін., 2015). У даному дослідженні із застосуванням капаметра MS-2 було розширено перелік робочих частот (див. табл. 1).

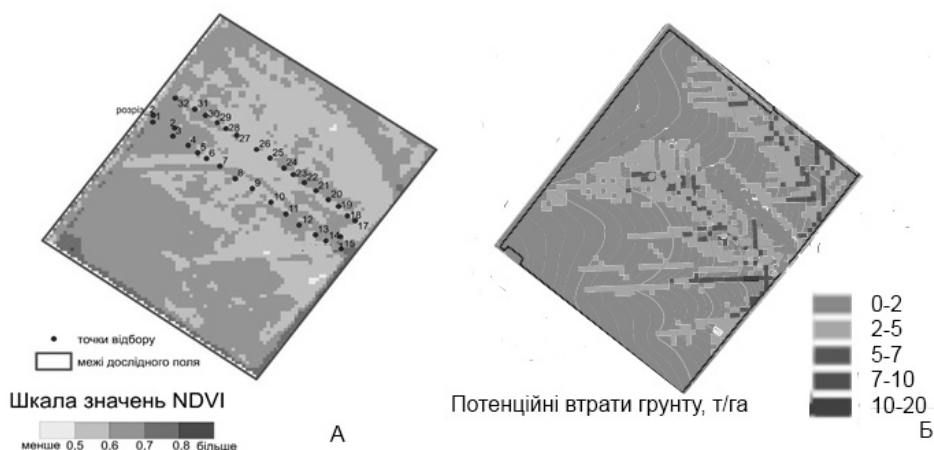


Рис. 2. А – картограма розподілу значень спектрального індексу NDVI; Б – картограма потенційних втрат ґрунту

Таблиця 1

Показники кореляції Спірмена між МС ґрунту, визначеної на різних частотах, та вмістом гумусу

Показник	Од. вимірювання	МС KLY-2	Уміст гумусу	МС MS-2 LF	МС MS-2 HF
МС KLY-2	$10^{-9} \text{ м}^3/\text{кг}$	–	0,803696	0,936640	0,947368
Уміст гумусу	%	0,803696	–	0,746768	0,780052
МС MS-2 LF	$10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$	0,936640	0,746768	–	0,900000
МС MS-2 HF	$10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$	0,947368	0,780052	0,900000	–

Кореляційна залежність між низькочастотною магнітною сприйнятливістю та вмістом гумусу наведено на рис. 3. Як видно з табл. 1, коефіцієнт кореляції досягає значення 0,8.

Таким чином, найбільш значимим є зв'язок між вмістом гумусу та МС, визначеною за допомогою капамістка KLY-2. Зв'язок між даними, отриманими з MS-2, дещо менш достовірний. Високі коефіцієнти кореляції кожного з показників дозволяють рекомендувати МС, отриману для різних частот, для заміни вартісних визначень умісту гумусу в ерозіознавчих дослідженнях.

На рис. 4 наводиться кореляційна залежність між коефіцієнтом потенційних втрат ґрунту та низькочастотною магнітною сприйнятливістю. Зв'язок МС і значення потенційних втрат ґрунту в даному дослідженні виражений слабкіше. Значення коефіцієнта кореляції між цими показниками лежить у межах 0,52–0,57. Ще нижчим виявився ступінь зв'язку МС і результатів спектрального сканування поверхні. Для NDVI та діапазону яскравості B4 коефіцієнт кореляції становить 0,22–0,33, лише для діапазону B8 він дещо вищий – 0,24–0,48.

Також оцінили коефіцієнт варіації кожного з варіантів МС. Вони є практично однаковими та становлять відповідно 14,1 %, 14,1 % та 13,9 %. Для вмісту гумусу цей показник становив 14,9 %. Показник потенційних втрат ґрунту в умовах ускладненого рельєфу характеризується значно вищими показниками варіабельності – коефіцієнт варіації 90 %.

При дослідженні можливостей використання магнітних методів в ерозіознавчих дослідженнях важливим є

з'ясування генезису, розмірів, форми, доменного стану магнітних мінералів, які власне продукують магнітний сигнал у ґрунті, а також привносяться або формуються у процесі ґрунтоутворення. Для виключення можливого внеску техногенних магнітних частинок інформативним є використання параметра частотної залежності магнітної сприйнятливості χ_{fd} . На рис. 5 наводиться гістограма розподілу значень цього параметра для ґрунтів ФГ "Фенікс" Близнюківського району Харківської області.

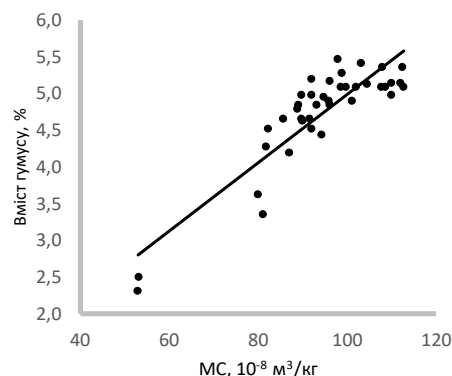


Рис. 3. Зв'язок між вмістом гумусу та низькочастотною магнітною сприйнятливістю ґрунтів ФГ "Фенікс"

Значення χ_{fd} менші за 3–4 ідентифікують превалювання мультидоменних магнітних зерен, найчастіше техногенного походження розміром у мікрметри (Lu et al.,

2008). У нашому випадку такі зерна не визначені, що підтверджує відсутність техногенного забруднення вивчаемого ґрунтового покриву. Крім того, ефективним показником наявності або відсутності техногенного забруднення є залежність між частотним коефіцієнтом і низькочастотною магнітною сприйнятливістю. За прямої залежності між низькочастотною магнітною сприйнятливістю на коефіцієнтом частотної залежності техногенний вплив відсутній, за зворотної залежності – наявне забруднення ґрунту. Результати такої побудови наводяться на рис. 6. Як видно – залежність пряма. Для усіх зразків $\chi_{lf} \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ становить: $40 \leq \chi_{lf} \leq 115$, χ_{fd} : $6 \leq \chi_{fd} \leq 20$. Згідно з роботою (Wang et al., 2000) за прямої залежності χ_{lf} від χ_{fd} відсутнє техногенне забруднення, а магнетизм ґрунтів формується за рахунок суперпарамагнітних наддрібних частинок педогенного походження (SP) та однодоменних стабільних зерен (SD).

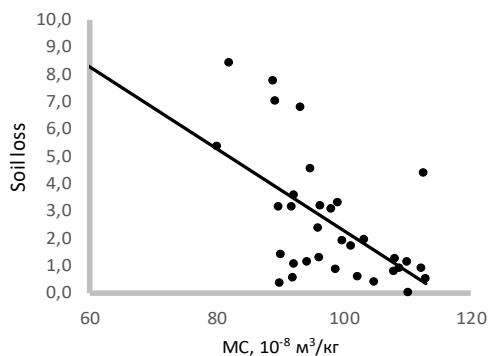


Рис. 4. Зв'язок між потенційними втратами ґрунту та низькочастотною магнітною сприйнятливістю ґрунтів ФГ "Фенікс"

На гістограмі (рис. 5) всі значення вищі за 6. Це вказує на значний вміст саме суперпарамагнітного матеріалу, який формується у процесі сучасного педогенезу (Maxbauer et al., 2016). Слід зазначити, що розподіл на гістограмі характерний для логнормального, де найбільш імовірні значення перебувають у правій асиметрії розподілу. Згідно з (Dearing et al., 1996) значення близько 15–20 підтверджують тотальне превалювання суперпарамагнітного матеріалу розміром менше 20 нм, що й зафіксовано нами. На жаль, дослідження частотної залежності магнітної сприйнятливості не дозволяє визначити, який саме магнітний мінерал педогенного походження перебуває в суперпарамагнітному стані (напр., магнетит або магеміт). Для відповіді на це питання необхідні подальші магнітомінералогічні вимірювання безгістерезисної намагніченості (ARM), ізотермічної залишкової намагніченості (IRM), параметрів петлі гістерезису, а також термомагнітний аналіз.

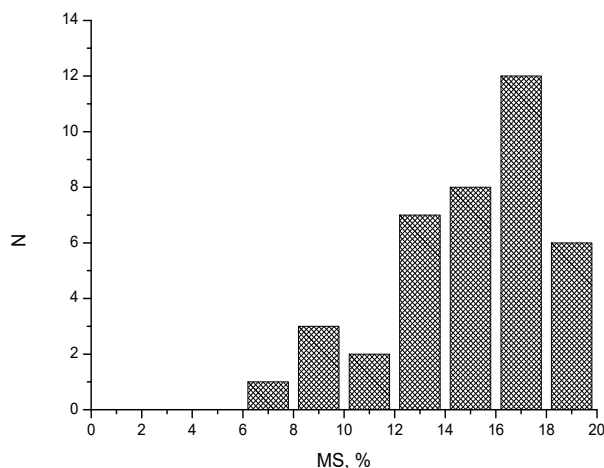


Рис. 5. Гістограма розподілу значень частотної залежності магнітної сприйнятливості χ_{fd} ґрунтів ФГ "Фенікс"

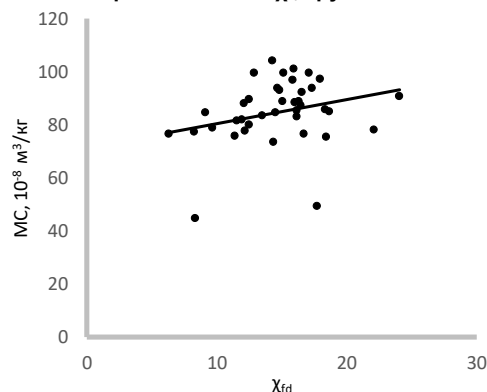


Рис. 6. Графік залежності низькочастотної магнітної сприйнятливості χ_{lf} від коефіцієнта частотної магнітної сприйнятливості χ_{fd} ґрунтів ФГ "Фенікс"

Висновки. Отримано високий ступінь зв'язку між MS чорнозему звичайного та вмістом гумусу, причому значення коефіцієнта кореляції Спірмена цих показників слабо залежить від частоти визначення MS. Також ці показники мають практично однакові показники варіативності. Це дозволяє рекомендувати MS для застосування у складі ерозієзнавчих досліджень для заміни та доповнення значно вартісніших методів визначення вмісту гумусу.

Зв'язок MS і значення потенційних втрат ґрунту в даному дослідженні менш виражений. Результати математичного моделювання в умовах ускладненого рельєфу характеризуються високою варіабельністю, що створює передумови для зниження ступеня їхньої інформативності.

Отримано низький ступінь зв'язку результатів спектрального сканування поверхні та MS ґрунту.

Магнітомінералогічні дослідження підтвердили відсутність техногенного забруднення ґрунтів, превалювання суперпарамагнітних зерен розміром менше 20 нм, що імовірно формуються в режимі реального часу в процесі ґрунтоутворення.

Список використаних джерел

- Круглов, О., Меньшов, О., Улько, Э., Кучер, А., Назарок, П. (2018). Індикація ерозійних процесів у ґрунтового покриві Харківської області за магнітними даними. *Вісник Київського національного університету. Геологія*, 82(3), 36-44.
- Круглов, О. В. (2012). Особливості розподілу магнітної сприйнятливості чорнозему типового на схилах. *Вісник Харківського нац. аграрного ун-ту*, 4, 66-69.
- Меньшов, О., Сухорада, А. (2017). Основи теорії та методології геофізики ґрунтового покриву: перші результати практичного застосування. *Вісник Київського національного університету. Геологія*, 79(4), 35-39.
- Назарок, П. Г., Круглов, О. В., Куценко, М. В., Меньшов, О. І., Сухорада, А. В. (2015). До проблеми картографування ерозійних процесів. *Вісник аграрної науки*, 9, 63-68.

- Ayoubi, S., Adman, V., Youseffard, M. (2019). Use of magnetic susceptibility to assess metals concentration in soils developed on a range of parent materials. *Ecotoxicology and environmental safety*, 168, 138-145.
- Barbosa, R. S., Júnior, J. M., Barrón, V., Martins Filho, M. V., Siqueira, D. S., Peluco, R. G., ... & Silva, L. S. (2019). Prediction and mapping of erodibility factors (USLE and WEPP) by magnetic susceptibility in basalt-derived soils in northeastern São Paulo state, Brazil. *Environmental Earth Sciences*, 78(1), 12.
- Byndych, T. (2017). Using Multispectral Satellite Imagery for Parameterisation of Eroded Chernozem. Soil Science Working for a Living: Applications of soil science to present-day problems. Part II, 57-65.
- Dearing, J. A., Dann, R. J. L., Hay, K., Lees, J. A., Loveland, P. J., Maher, B. A., O'grady, K. (1996). Frequency-dependent susceptibility measurements of environmental materials. *Geophysical Journal International*, 124(1), 228-240.
- de Souza Bahia, A. S. R., Marques, J., La Scala, N., Cerri, P., Eduardo, C., Camargo, L. A. (2017). Prediction and mapping of soil attributes using diffuse reflectance spectroscopy and magnetic susceptibility. *Soil Science Society of America Journal*, 81(6), 1450-1462.
- Evans, M., Heller, F. (2003). Environmental magnetism: principles and applications of enviromagnetics. Elsevier. Vol. 86.
- Govedarica, D. D., Gavrilov, M. B., Zeremski, T. M., Govedarica, O. M., Hambach, U., Tomić, N. A., ... Marković, S. B. (2019). Relationships between heavy metal content and magnetic susceptibility in road side loess profiles: A possible way to detect pollution. *Quaternary International*, 502, 148-159.
- Jakšić, O., Kodešová, R., Kapička, A., Klement, A., Fer, M., Nikodem, A. (2016). Using magnetic susceptibility mapping for assessing soil degradation due to water erosion. *Soil and Water Research*, 11(2), 105-113.
- Kapicka, A., Dlouha, S., Grison, H., Jaksik, O., Kodesova, R., Petrovsky, E. (2013, April). Magnetism of soils applied for estimation of erosion at an agricultural land. *In EGU General Assembly Conference Abstracts*, Vol. 15.
- Kruglov, O., Menshov, O., Ulko, E., Kucher, A., Nazarov, P. (2018). Soil erosion indication by magnetic methods in Kharkiv region. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 82(3), 36-44. [in Ukrainian]
- Kruglov, O.V. (2012). Osoblyvosti rozpodilu magnitnoi sprynativosti chornozemu typovogo na shylah. *Visnyk Harkivskogo nacionalnogo universitetu*, 4, 66-69. [in Ukrainian]
- Liu, L., Zhang, Z., Zhang, K., Liu, H., Fu, S. (2018). Magnetic susceptibility characteristics of surface soils in the Xilinge grassland and their implication for soil redistribution in wind-dominated landscapes: A preliminary study. *Catena*, 163, 33-41.
- Lu, S.G., Bai, S. Q., Fr, L. X. (2008). Magnetic properties as indicators of Cu and Zn contamination in soils. *Pedosphere*, 18(4), 479-485.
- Maxbauer, D. P., Feinberg, J. M., Fox, D. L. (2016). Magnetic mineral assemblages in soils and paleosols as the basis for paleoprecipitation proxies: a review of magnetic methods and challenges. *Earth-Science Reviews*, 155, 28-48.
- Menshov, O., Kruglov, O., Vyzhva, S., Nazarov, P., Pereira, P., Pastushenko, T. (2018). Magnetic methods in tracing soil erosion, Kharkov Region, Ukraine. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 62(4), 681-696.
- Petlovanyi, M., Kuzmenko, O., Lozynskyi, V., Popovych, V., Sai, K., Saik, P. (2019). Review of man-made mineral formations accumulation and prospects of their developing in mining industrial regions in Ukraine. *Mining of Mineral Deposits*, 13(1), 24-38. <https://doi.org/10.33271/mining13.01.024>
- Radaković, M. G., Gavrilov, M. B., Hambach, U., Schaetzl, R. J., Tošić, I., Ninkov, J., ... Marković, S. B. (2019). Quantitative relationships between climate and magnetic susceptibility of soils on the Bačka Loess Plateau (Vojvodina, Serbia). *Quaternary International*, 502, 85-94.
- Ravi, S., Gonzales, H. B., Buynevich, I. V., Li, J., Sankey, J. B., Dukes, D., Wang, G. (2019). On the development of a magnetic susceptibility-based tracer for aeolian sediment transport research. *Earth Surface Processes and Landforms*, 44(2), 672-678.
- Royall, D. (2001). Use of mineral magnetic measurements to investigate soil erosion and sediment delivery in a small agricultural catchment in limestone terrain. *Catena*, 46(1), 15-34.
- Santoso, N. A., Iqbal, M., Ekawati, G., Firdaus, R. (2019, April). Study of pH and Magnetic Susceptibility to Fertility Rate of Agricultural Soil around Institut Teknologi Sumatera, Lampung, Indonesia. *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 258, 1, 012001. IOP Publishing.
- Tabachenko, M., Saik, P., Lozynskyi, V., Falshtynskyi, V., Dychkovskyi R. (2016). Features of setting up a complex, combined and zero-waste gasifier plant. *Mining of Mineral Deposits*, 10(3), 37-45. <http://dx.doi.org/10.15407/mining10.03.037>
- Truskavetsky, S., Byndych, T., Sherstyuk, A., Viatkin K. (2015). Studying the condition of soil protection agro- landscape in Ukraine using remote sensing methods. *Journal of Agricultural Science and Technology A*, 5, 4, 235-240.
- Ventura, Jr, E., Nearing, M. A., Norton, L. D. (2001). Developing a magnetic tracer to study soil erosion. *Catena*, 43(4), 277-291.
- Wang, L., Liu, D., Lu, H. (2000). Magnetic susceptibility properties of polluted soils. *Chinese Science Bulletin*, 45, 1723-1726.
- Yue, Y., Keli, Z., Liang, L., Qianhong, M., Jianyong, L. (2019). Estimating long-term erosion and sedimentation rate on farmland using magnetic susceptibility in northeast China. *Soil and Tillage Research*, 187, 41-49.
- (USLE and WEPP) by magnetic susceptibility in basalt-derived soils in northeastern São Paulo state, Brazil. *Environmental Earth Sciences*, 78(1), 12.
- Byndych, T. (2017). Using Multispectral Satellite Imagery for Parameterisation of Eroded Chernozem. Soil Science Working for a Living: Applications of soil science to present-day problems. Part II, 57-65.
- Dearing, J. A., Dann, R. J. L., Hay, K., Lees, J. A., Loveland, P. J., Maher, B. A., O'grady, K. (1996). Frequency-dependent susceptibility measurements of environmental materials. *Geophysical Journal International*, 124(1), 228-240.
- de Souza Bahia, A. S. R., Marques, J., La Scala, N., Cerri, P., Eduardo, C., Camargo, L. A. (2017). Prediction and mapping of soil attributes using diffuse reflectance spectroscopy and magnetic susceptibility. *Soil Science Society of America Journal*, 81(6), 1450-1462.
- Evans, M., Heller, F. (2003). Environmental magnetism: principles and applications of enviromagnetics. Elsevier. Vol. 86.
- Govedarica, D. D., Gavrilov, M. B., Zeremski, T. M., Govedarica, O. M., Hambach, U., Tomić, N. A., ... Marković, S. B. (2019). Relationships between heavy metal content and magnetic susceptibility in road side loess profiles: A possible way to detect pollution. *Quaternary International*, 502, 148-159.
- Jakšić, O., Kodešová, R., Kapička, A., Klement, A., Fer, M., Nikodem, A. (2016). Using magnetic susceptibility mapping for assessing soil degradation due to water erosion. *Soil and Water Research*, 11(2), 105-113.
- Kapicka, A., Dlouha, S., Grison, H., Jaksik, O., Kodesova, R., Petrovsky, E. (2013, April). Magnetism of soils applied for estimation of erosion at an agricultural land. *In EGU General Assembly Conference Abstracts*, Vol. 15.
- Kruglov, O., Menshov, O., Ulko, E., Kucher, A., Nazarov, P. (2018). Soil erosion indication by magnetic methods in Kharkiv region. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 82(3), 36-44. [in Ukrainian]
- Kruglov, O.V. (2012). Osoblyvosti rozpodilu magnitnoi sprynativosti chornozemu typovogo na shylah. *Visnyk Harkivskogo nacionalnogo universitetu*, 4, 66-69. [in Ukrainian]
- Liu, L., Zhang, Z., Zhang, K., Liu, H., Fu, S. (2018). Magnetic susceptibility characteristics of surface soils in the Xilinge grassland and their implication for soil redistribution in wind-dominated landscapes: A preliminary study. *Catena*, 163, 33-41.
- Lu, S.G., Bai, S. Q., Fr, L. X. (2008). Magnetic properties as indicators of Cu and Zn contamination in soils. *Pedosphere*, 18(4), 479-485.
- Maxbauer, D. P., Feinberg, J. M., Fox, D. L. (2016). Magnetic mineral assemblages in soils and paleosols as the basis for paleoprecipitation proxies: a review of magnetic methods and challenges. *Earth-Science Reviews*, 155, 28-48.
- Menshov, O., Kruglov, O., Vyzhva, S., Nazarov, P., Pereira, P., Pastushenko, T. (2018). Magnetic methods in tracing soil erosion, Kharkov Region, Ukraine. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 62(4), 681-696.
- Menshov, O., Sukhorada, A. (2017). Basic theory and methodology of soil geophysics: the first results of application. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 79(4), 35-39. [in Ukrainian]
- Nazarov, P.G., Kruglov, O.V., Kutsenko, M.V., Menshov, O.I., Sukhorada, A.V. (2015). Do problem kartografuvannya erosivnih procesiv. *Visnyk agramoi nayki*, 9, 63-68. [in Ukrainian]
- Petlovanyi, M., Kuzmenko, O., Lozynskyi, V., Popovych, V., Sai, K., Saik, P. (2019). Review of man-made mineral formations accumulation and prospects of their developing in mining industrial regions in Ukraine. *Mining of Mineral Deposits*, 13(1), 24-38. <https://doi.org/10.33271/mining13.01.024>
- Radaković, M. G., Gavrilov, M. B., Hambach, U., Schaetzl, R. J., Tošić, I., Ninkov, J., ... Marković, S. B. (2019). Quantitative relationships between climate and magnetic susceptibility of soils on the Bačka Loess Plateau (Vojvodina, Serbia). *Quaternary International*, 502, 85-94.
- Ravi, S., Gonzales, H. B., Buynevich, I. V., Li, J., Sankey, J. B., Dukes, D., Wang, G. (2019). On the development of a magnetic susceptibility-based tracer for aeolian sediment transport research. *Earth Surface Processes and Landforms*, 44(2), 672-678.
- Royall, D. (2001). Use of mineral magnetic measurements to investigate soil erosion and sediment delivery in a small agricultural catchment in limestone terrain. *Catena*, 46(1), 15-34.
- Santoso, N. A., Iqbal, M., Ekawati, G., Firdaus, R. (2019, April). Study of pH and Magnetic Susceptibility to Fertility Rate of Agricultural Soil around Institut Teknologi Sumatera, Lampung, Indonesia. *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 258, 1, 012001. IOP Publishing.
- Tabachenko, M., Saik, P., Lozynskyi, V., Falshtynskyi, V., Dychkovskyi R. (2016). Features of setting up a complex, combined and zero-waste gasifier plant. *Mining of Mineral Deposits*, 10(3), 37-45. <http://dx.doi.org/10.15407/mining10.03.037>
- Truskavetsky, S., Byndych, T., Sherstyuk, A., Viatkin K. (2015). Studying the condition of soil protection agro- landscape in Ukraine using remote sensing methods. *Journal of Agricultural Science and Technology A*, 5, 4, 235-240.
- Ventura, Jr, E., Nearing, M. A., Norton, L. D. (2001). Developing a magnetic tracer to study soil erosion. *Catena*, 43(4), 277-291.
- Wang, L., Liu, D., Lu, H. (2000). Magnetic susceptibility properties of polluted soils. *Chinese Science Bulletin*, 45, 1723-1726.
- Yue, Y., Keli, Z., Liang, L., Qianhong, M., Jianyong, L. (2019). Estimating long-term erosion and sedimentation rate on farmland using magnetic susceptibility in northeast China. *Soil and Tillage Research*, 187, 41-49.

References

- Ayoubi, S., Adman, V., Youseffard, M. (2019). Use of magnetic susceptibility to assess metals concentration in soils developed on a range of parent materials. *Ecotoxicology and environmental safety*, 168, 138-145.
- Barbosa, R. S., Júnior, J. M., Barrón, V., Martins Filho, M. V., Siqueira, D. S., Peluco, R. G., ... Silva, L. S. (2019). Prediction and mapping of erodibility factors

O. Kruglov¹, PhD (Geol.), Senior Researcher, E-mail: alex_kruglov@ukr.net;
O. Menshov², Dr. Sci.(Geol.), Senior Researcher, E-mail: menshov.o@ukr.net;
P. Nazarov¹, Researcher;
L. Kolada¹, Lead Engineer;
V. Kolada¹, PhD (Agri.), Head of Laboratory;
A. Achasova¹, PhD (Biol.), Senior Researcher
¹NSC "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research n. a. O. N. Sokolovskiy"
4 Chaikovska Str., Kharkiv, Ukraine
²Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology
90, Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine

MAGNETIC SUSCEPTIBILITY OF SOIL AND ITS SIGNIFICANCE IN EROSION STUDIES

Water erosion of the soil is a major factor in the degradation of agricultural land in Ukraine. About 13 million hectares of arable land need additional protection. The study of the influence of the mentioned hazard processes is important both for the scientists and land endusers. The purpose of the paper is to demonstrate the possibilities of soil magnetic susceptibility mapping in erosion studies. The comparison with traditional methods is implemented. The studies were carried out at the territory of Farm Enterprise "Phoenix" of the Bliznyukovsky district of the Kharkiv region at the distance of 6 km to the south-east of the Lozova. The study site is used for crop production. The relief of the site is complicated by the developed ravine network. The soil is ordinary chernozems (Haplic Chernozems in WRB classification). We have registered high correlation between magnetic susceptibility (MS) of the studied chernozems and humus content (organic matter). The Spearman correlation coefficient slightly depends on the frequency magnetic susceptibility coefficient. The results give the opportunity to recommend soil MS studies as the additional tool in soil erosion mapping. The magnetic measurements are expensive and fast for the humus (organic matter) identification of eroded soil. The relation of the values of soil MS and the value of potential soil loss at the studied area was low. The study of the magnetic mineralogy confirmed the absence of the anthropogenic soil pollution. We confirmed this by the values of the frequency dependence of magnetic susceptibility which were above 6. The domination of the superparamagnetic (SP) grains with the size less than 20 nm was confirmed by the values of the frequency dependence of magnetic too. The majority of the MS values are 10-20. The magnetic minerals of the studied soil have been formed in real time under the pedogenic (natural soil formation) process.

Keywords: soil, magnetic susceptibility, erosion.

А. Круглов¹, канд. геол. наук, ст. науч. сотр., E-mail: alex_kruglov@ukr.net;
А. Меньшов², д-р геол. наук, ст. науч. сотр., E-mail: menshov.o@ukr.net;
П. Назарок¹, науч. сотр.;
Л. Коляда¹, вед. инж.;
В. Коляда¹, канд. с.-х. наук, зав. лаб.;
А. Ачасова¹, канд. биол. наук, доц., ст. науч. сотр.
¹ІНЦ "Інститут почвознавства і агрохімії імені А. Н. Соколовського"
ул. Чайковська, 4, Харків, Україна
²Київський національний університет імені Тараса Шевченка
УНІ "Інститут геології", ул. Васильківська, 90, Київ, 03022, Україна

МАГНИТНАЯ ВОСПРИИМЧИВОСТЬ ПОЧВ В СОСТАВЕ ЭРОЗИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Водная эрозия почвенного покрова является основным фактором деградации сельскохозяйственных земель в Украине. В дополнительной защите нуждаются около 13 млн га пахотных земель. Изучение влияния данных процессов интересует не только ученых, но и землепользователей. Целью данной работы является демонстрация информативности использования магнитной восприимчивости (МВ) почвы в эрозионных исследованиях, а также ее сравнение с традиционными методами. Работы проводились на территории ФГ "Феникс" Близнюковского района Харьковской области в 6 км к юго-востоку от г. Лозовая. Участок исследований используется в производстве, а именно в растениеводстве. Рельеф участка затруднен развитой балочной сетью. Почвенный покров – чернозем обыкновенный тяжелосуглинистый. Нами зарегистрирована высокая степень связи между МВ чернозема обыкновенного и содержанием в нем гумуса. Значение коэффициента корреляции Спирмена этих показателей слабо зависит от частотного коэффициента МВ. Результаты позволяют рекомендовать МВ для замены и дополнения значительно более дорогостоящих анализов по определению содержания гумуса. Связь МВ и значений потенциальных потерь почвы в данном исследовании были низкими. Исследование магнитной минералогии подтвердило отсутствие техногенного загрязнения почвы на основе значений частотной зависимости магнитной восприимчивости выше 6. Преобладание суперпарамагнитных зерен размером менее 20 нм подтверждается значениями частотной зависимости магнитной восприимчивости 10–20. Такие магнетики формируются в режиме реального времени в процессе почвообразования.

Ключевые слова: почва, магнитная восприимчивость, эрозия.

УДК 553.98.061.4:622.691.24

Н. Дубей, канд. геол.-мінералог. наук, доц.

E-mail: nata0509@i.ua

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Інститут природничих наук і туризму

вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна

ВПЛИВ ГЕОЛОГІЧНОЇ НЕОДНОРІДНОСТІ ПЛАСТІВ НА РОБОТУ ПІДЗЕМНИХ ГАЗОСХОВИЩ

(Представлено членами редакційної колегії д-ом геол. наук, проф. О. М. Іванік та д-ом геол. наук, проф. О. М. Карпенком)

На основі проведеного аналізу досліджень щодо створення та експлуатації підземних сховищ газу (ПСГ) в умовах неоднорідних колекторів встановлено відсутність комплексної методики врахування фактора неоднорідності на стадії їхнього проектування. У результаті має місце значне завищення проектних показників проти фактичних і зниження ефективності роботи ПСГ.

Наведено методичні розробки з урахування неоднорідності пласта на стадії проектування ПСГ, які містять конкретні пропозиції з уточнення початкових запасів і газонасиченого об'єму пласта шляхом переінтерпретації залежності приведенного пластового тиску від сумарної кількості газу в підземних газосховищах.

Метою даної роботи є оцінка впливу геолого-промислових чинників на технологічні показники експлуатації ПСГ, створених у виснажених газових покладах, шляхом порівняльної характеристики роботи Опарського та Богородчанського ПСГ. Для досягнення поставленої мети досліджено геолого-промислові особливості Опарського та Богородчанського ПСГ; розроблено методику вивчення геологічної неоднорідності; досліджено вплив геологічних чинників на технологічні показники експлуатації ПСГ.

Результати дослідження мають практичне значення. Використання методики вивчення характеру неоднорідності пластів-колекторів є необхідним при проектуванні нових газосховищ і при корегуванні технологічних проектів по ПСГ, які створені в неоднорідних колекторах і перебувають в експлуатації.

Ключові слова: підземне сховище газу, неоднорідність пластів колекторів, проникність, геолого-промислові особливості, проектування, експлуатація ПСГ, пластовий тиск.

Постановка проблеми. Одним із найголовніших стратегічних завдань держави є підтримання на високому технічному рівні й подальше розширення газотранспортної системи, а також підвищення ефективності роботи підземних газосховищ. Вирішення цих питань неможливе без детального вивчення геологічної будови об'єктів, в яких проектується створення підземних газосховищ або аналізується робота вже існуючих ПСГ.

Визначальними геологічними параметрами для всіх ПСГ у пористому середовищі є проникність, пористість, товщина і глибина залягання пласта-колектора, об'єм порового простору, який може бути заповнений газом, наявність герметичної покривки над пластом-колектором, активність водонапірної системи. При цьому особливу увагу слід звертати на ступінь витриманості колекторських властивостей продуктивних горизонтів за площею і розрізом.

При створенні ПСГ в однорідних високопроникних колекторах (Дашавське, Червонопопівське) фактичні технологічні показники експлуатації близькі до проектних. Водночас при створенні ПСГ в умовах неоднорідних, різнопроникних колекторів фактичні технологічні показники експлуатації значною мірою відрізняються від проектних. Це виражено, у першу чергу, у зменшенні фактичного активного об'єму газу на 20–40 % при значному збільшенні буферного об'єму газу, що має місце на Угерському, Опарському, Кегицівському ПСГ. Слід чекати таких відхилень на Пролетарському газосховищі (горизонти Б-5, Б-9) та ПСГ, створених в аналогічних геолого-промислових умовах. Ці відхилення насамперед пов'язані з тим, що проекти створення ПСГ складалися в основному за матеріалами розробки продуктивного горизонту без урахування неоднорідності пластів-колекторів та їхніх фільтраційних властивостей.

Неврахування неоднорідності пластів-колекторів і пов'язане з ним погіршення технологічних показників роботи ПСГ спричинює не виправдані перевитрати (завищення кількості свердловин, потужності компресорної станції тощо) і різко знижує економічну ефективність його роботи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теоретичні основи проектування та експлуатації газосховищ у виснажених газових родовищах були закладені у працях С. Н. Бузінова (Бузінова, Толкушин, 1979), А. І. Ширковського (Ширковский, Задора, 1974).

Значний внесок у теорію та практику створення підземних газосховищ у виснажених пластах, у тому числі й в умовах Прикарпаття, зробили А. В. Баранова, В. П. Войцицький (Войцицкий, 1993; Войцицкий 1986), Р. Ф. Гімер (Гімер та ін., 2001), О. Н. Грачева, О. М. Іщенко, Й. С. Павлюк, О. В. Солецький, Г. І. Солдаткін (Солдаткин, 1975).

Питанню вивчення неоднорідності колекторів у підземних сховищах газу і впливу цього фактора на ефективність їхньої експлуатації присвячено роботи Н. В. Дубей (Дубей, 2017), Н. Р. Ковальчука (Ковальчук, 1975), Т. Н. Митрофанової (Митрофанова, 1976), Н. М. Свихнушина (Свихнушин, Азаматов, 1971).

Деякі автори відмічають наявність нерівномірного дренивання пластів-колекторів і його вплив на технологічні показники роботи ПСГ (Бондарев, 1982; Борисов и др. 1970; Григорьев, 1983).

Виділення нерозв'язаних раніше частин загальної проблеми. У результаті проведеного аналізу досліджень щодо створення та експлуатації підземних газосховищ в умовах неоднорідних колекторів встановлено відсутність комплексної методики врахування фактора неоднорідності на стадії їхнього проектування. У результаті має місце значне завищення проектних показників проти фактичних і зниження ефективності роботи ПСГ.

У даній роботі ми пропонуємо методичні розробки з урахування неоднорідності пласта на стадії проектування ПСГ, які містять конкретні пропозиції з уточнення початкових запасів і газонасиченого об'єму пласта шляхом переінтерпретації залежності приведенного пластового тиску від сумарної кількості газу в підземних газосховищах.

Метою даної роботи є оцінка впливу геолого-промислових чинників на технологічні показники експлуатації ПСГ, створених у виснажених газових покладах, шляхом порівняльної характеристики роботи Опарського та Богородчанського ПСГ.

Для досягнення поставленої мети були виконані такі **завдання:**

- досліджено геолого-промислові особливості Опарського та Богородчанського ПСГ;
- розроблено методику вивчення геологічної неоднорідності;
- досліджено вплив геологічних чинників на технологічні показники експлуатації ПСГ.

Результати дослідження мають практичне значення. Використання методики вивчення характеру неоднорідності пластів-колекторів є необхідним при проектуванні нових газосховищ і при корегуванні технологічних проектів по ПСГ, які створені в неоднорідних колекторах і перебувають в експлуатації.

Виклад основного матеріалу дослідження. До складу Західного газорегулювального комплексу входять 5 ПСГ: Більче-Волицько-Угерське, яке є найбільшим у Європі з активним об'ємом 17.5 млрд кубометрів, Угерське (XIV–XV горизонти), Дашавське, Опарське і Богородчанське. Цей комплекс є гарантом надійності транзитних передач російського чи центральноазійського газу до європейських країн і газопостачання західних областей України і прилеглих до них Молдови і Білорусі.

У роботі виконано **аналіз геологічної будови** Опарського та Богородчанського підземних газосховищ, пов'язаних із Передкарпатським краєвим прогином (Войцицкий, 1986; 1993; Леськів, Щерба, 1979). Опарське ПСГ розташовано в межах Зовнішньої зони прогину, а Богородчанська структура – у смузі сполучення Зовнішньої й Внутрішньої зон.

Опарське ПСГ розташовано на території Дрогобицького району Львівської області. Підземне сховище газу створено в горизонтах НД-5, НД-7, НД-8 і введено в експлуатацію 29 липня 1979 року.

Нижньосарматські відклади, до яких приурочені поклади газу, складені в пологі антиклінальну складку, витягнуту в північно-західному загальнокарпатському напрямку.

Колекторами газу продуктивних горизонтів НД-5, НД-7 і НД-8 є пласти і пропластки пісковиків і алевролітів, які залягають серед однорідних глинистих пластів, що служать покривками для ПСГ. У роботі детальніше досліджувався лише один із трьох продуктивних горизонтів Опарського ПСГ – горизонт НД-7, який є найбільш невитриманим за площею і розрізом.

Горизонт НД-7 залягає на глибинах 700–810 м і відділяється від горизонту НД-5 глинистою пачкою товщиною 20–40 м. Загальна товщина його коливається від 15 до 45 м, ефективна – від 10 до 35 м. Коефіцієнт піщанистості – 0,45–0,8. Відкрита пористість – 10–29 %, проникність – $1 \cdot 10^{-15}$ – $905 \cdot 10^{-15}$ м². У нижній частині горизонту залягає водоносний пласт, який має обмежене розповсюдження по площі покладу. У південно-східній частині структури відмічається його літологічне виклинювання.

Горизонт значною мірою розчленований глинистими непроникиними пропластками, які мають порівняно велику товщину 2–5 м і значну поширеність по площі. Доля низькопрониких колекторів у розрізі свердловини досить велика і може досягати 50–70 %.

Богородчанське підземне сховище газу розташовано в Богородчанському районі Івано-Франківської області.

ПСГ створено в 1979 році в тортонському горизонті однойменного газового родовища, який безпосередньо перекритий відкладами Стебницького насуву.

У тектонічному плані Богородчанське газосховище пов'язано зі складною за будовою брахіантіклінальною складкою північно-західного простягання.

Поздовжніми та поперечними порушеннями Богородчанське підняття розбите на три блоки: північно-західний, північно-східний і південно-східний. Останній є найбільший за розмірами. Промислова газоносність пов'язана із трьома піщано-алевролітовими горизонтами (верхній, середній, нижній). Основні запаси газу були приурочені до середнього горизонту в межах основного південно-східного блока.

Пласти середнього продуктивного горизонту вивчені частим чергуванням пісковиків, алевролітів і аргілітів. Загальна товщина горизонту – 15–80 м, ефективна

товщина колекторів (пісковиків і алевролітів) у межах 40–60 м у склепінній частині й 12–15 м у західній частині структури. Відкрита пористість – 10–28 %, коефіцієнт піщанистості – 0,5–0,8. Проникність – $1 \cdot 10^{-15}$ – $360 \cdot 10^{-15}$ м². При цьому переважають колектори з проникністю $2 \cdot 10^{-15}$ – $10 \cdot 10^{-15}$ м². Щодо площі проникність окремих лінз змінюється значно меншою мірою, ніж це має місце по Опарському ПСГ.

Продуктивні горизонти родовища перекриті потужною товщею (до 1000 м) моласових утворень, які належать до насунутого комплексу Внутрішньої зони Передкарпатського прогину.

Відклади насуву складені в основному аргілітами, щільними глинами з рідкими прошарками алевролітів. Пісковики майже відсутні.

Газосховище створено в середньому продуктивному горизонті, з яким пов'язані основні запаси газу по родовищу. Газовий поклад – пластовий склепінний літологічно і тектонічно екранований. Початковий пластовий тиск – 10,15 МПа. Початкова абсолютна відмітка ГВК – мінус 823 м. Початкові запаси газу – 3300 млн м³.

Для вирішення поставлених завдань було розроблено **методику вивчення неоднорідності колекторів** та її застосування до об'єктів досліджень.

Усі прийоми і методи вивчення базуються в основному на статистичній обробці та узагальненні геолого-геофізичного фактичного матеріалу, отриманого в процесі буріння свердловин, включаючи обробку даних аналізу кернів і результатів інтерпретації промислово-геофізичних досліджень свердловин (Дементьев, 1966).

Результати досліджень можна подати у вигляді графіків, полігонів розподілу, геологічних профілів, карт піщанистості, пористості, проникності та кількісної оцінки. Вивчалась неоднорідність за розрізом і площею.

Для детального вивчення розрізу покладів, їхнього розчленування з урахуванням літолого-петрографічної й промислово-геофізичної характеристик порід були побудовані геолого-геофізичні (Опарське ПСГ) (рис. 1) і геологічні (Богородчанське ПСГ) профілі.

Опарське ПСГ характеризується значним розчленуванням по розрізу. Нерідко пісковики виклинюються за простяганням, або виклинюються, розділяючи їх, прошарки глинистих порід. Товщина пісковиків і алевролітів дуже мінлива.

На геологічному профілі Богородчанського ПСГ видно, що середній горизонт, в якому створено ПСГ, складається з окремих лінз, які мають пластовий характер і вивчені частим чергуванням пісковиків, алевролітів і аргілітів.

Продуктивність пласта в першу чергу визначається його ефективною товщиною, піщанистістю, пористістю та проникністю. Ці показники в умовах Опарського ПСГ значно змінюються за розрізом і площею.

Так, наприклад, для Опарського ПСГ по свердловині 95 у розрізі продуктивного горизонту НД-7 встановлені такі межі основних показників: ефективної товщини – 2,6–8 м; пористості – 16–27 %; проникності – $3 \cdot 10^{-15}$ – $700 \cdot 10^{-15}$ м². Таке коливання перелічених параметрів характерне і для розрізів решти свердловин. Порівнюючи характеристики продуктивних пластів за розрізами свердловин Богородчанського і Опарського ПСГ на основі аналізу геолого-геофізичних профілів і фактичного матеріалу, можна зробити висновок, що суттєва неоднорідність пластів-колекторів за розрізом є характерною ознакою лише для Опарського ПСГ.

Оцінка мінливості за площею ефективної товщини, піщанистості, пористості й проникності пластів-колекторів продуктивного горизонту НД-7 Опарського ПСГ проводилася шляхом аналізу графіка зміни ефективної товщини пісковиків і алевролітів продуктивного горизонту і карт піщанистості, пористості, проникності (рис. 2).

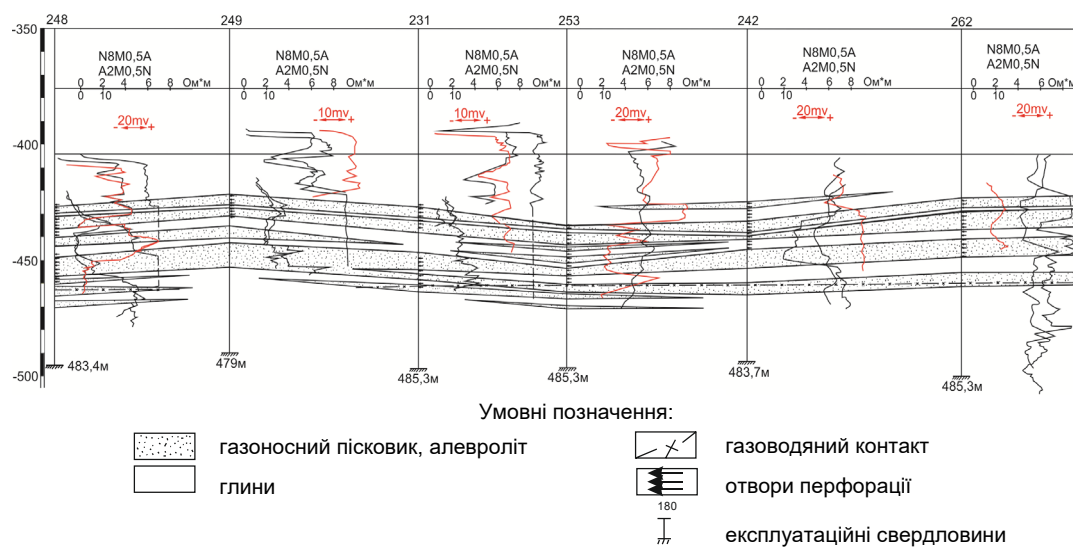


Рис. 1. Геолого-геофізичний профіль Опарського ПСГ

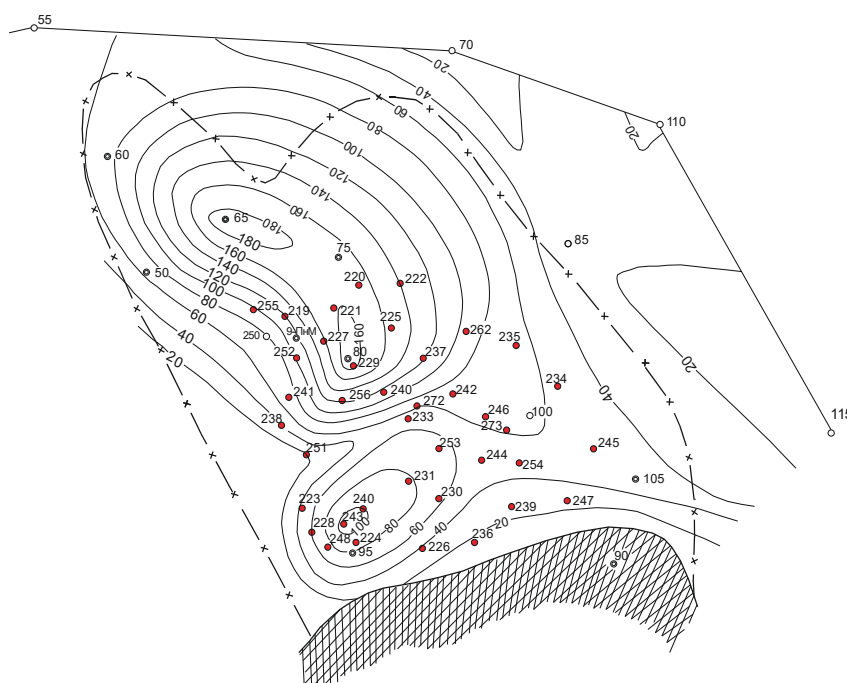


Рис. 2. Карта проникності продуктивного горизонту НД-7 Опарського підземного сховища газу

Із складених карт видно, що найкращі колекторські властивості мають породи-колектори, розміщені в північно-західній частині структури. Значення піщаності, пористості та проникності становлять тут відповідно 0,7–0,75; 25,2–26 %; $200 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$. У напрямку до півночі та сходу структури вони зменшуються відповідно до 0,5; 21 %; $40 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$. У південній частині Опарської площі, ближче до межі зони глинизації, перелічені параметри є мінімальні: піщаність – 0,4; пористість – 19 %; проникність – $20 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$.

Деяке збільшення всіх показників відмічається на карті в південно-західній зоні. Значення піщаності зростає тут до 0,68; пористості – до 24 %; проникності – до $100 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$.

Оцінка впливу неоднорідності пластів колекторів на технологічні показники експлуатації підземних сховищ газу. У практиці проектування, створення й експлуатації підземних сховищ газу у виснажених газових пластах, як правило, використовуються ті ж основні принципи, що й у разі проектування розробки самих газових родовищ. В основу технологічних схем (проектів)

зкладаються результати аналізів розробки родовищ (газонасичений і поточний поровий об'єм, робочі дебіти свердловин, режим роботи покладів, ступінь взаємодії різних ділянок покладів та ін.) без урахування специфічних умов роботи газосховища і в першу чергу високих темпів відбору і закачки газу. Якщо в процесі розробки газових покладів темп зниження пластового тиску часто становить 0,2–0,5 МПа на рік, то в процесі експлуатації ПСГ характер зміни тиску має приблизно синусоїдний характер, а темп його зниження або росту досягає 3–7 МПа за 4–5 місяців.

У багатьох випадках прийняті за матеріалами розробки вихідні дані загалом підтверджуються в результаті пробної й промислової експлуатації ПСГ. Це в основному стосується газосховищ, створених у виснажених газових покладах, які характеризуються високою проникністю й однорідністю продуктивних пластів при газовому або близькому до газового режиму їхньої роботи.

Але на деяких ПСГ фактичні показники експлуатації значною мірою відрізняються від прийнятих за матеріалами розробки. Це у першу чергу стосується ПСГ, створених у пластах порівняно невисокої проникності (до $100 \cdot 10^{-15}$ – $300 \cdot 10^{-15}$ м²), які відрізняються при цьому

значною неоднорідністю. Ця відмінність перш за все виражається в суттєвому зниженні активного об'єму газу, збільшенні об'єму буферного газу, зниженні продуктивності ПСГ, різкій диференціації пластових тисків по площі структури.

Зазначене вище особливо характерно для створених у Західному комплексі підземного зберігання газу Опарського та Угерського ПСГ. У даній роботі дається детальний аналіз роботи саме Опарського підземного газосховища, а також порівняльна характеристика з Богородчанським ПСГ, на якому менш виражена неоднорідність колекторів.

Умови створення ПСГ і з'ясування основних причин відхилення фактичних технологічних параметрів роботи від проектних подано нижче.

Оцінка впливу неоднорідності колекторів на технологічні показники експлуатації підземних сховищ газу була проведена на прикладі експлуатації Опарського ПСГ.

Нерівномірність дренавання можна продемонструвати за допомогою графіка залежності наведеного пластового тиску від кількості газу в ПСГ. У даній роботі наведено такий графік лише для горизонту НД-7, де цей фактор має найбільш виражений характер (рис. 3).

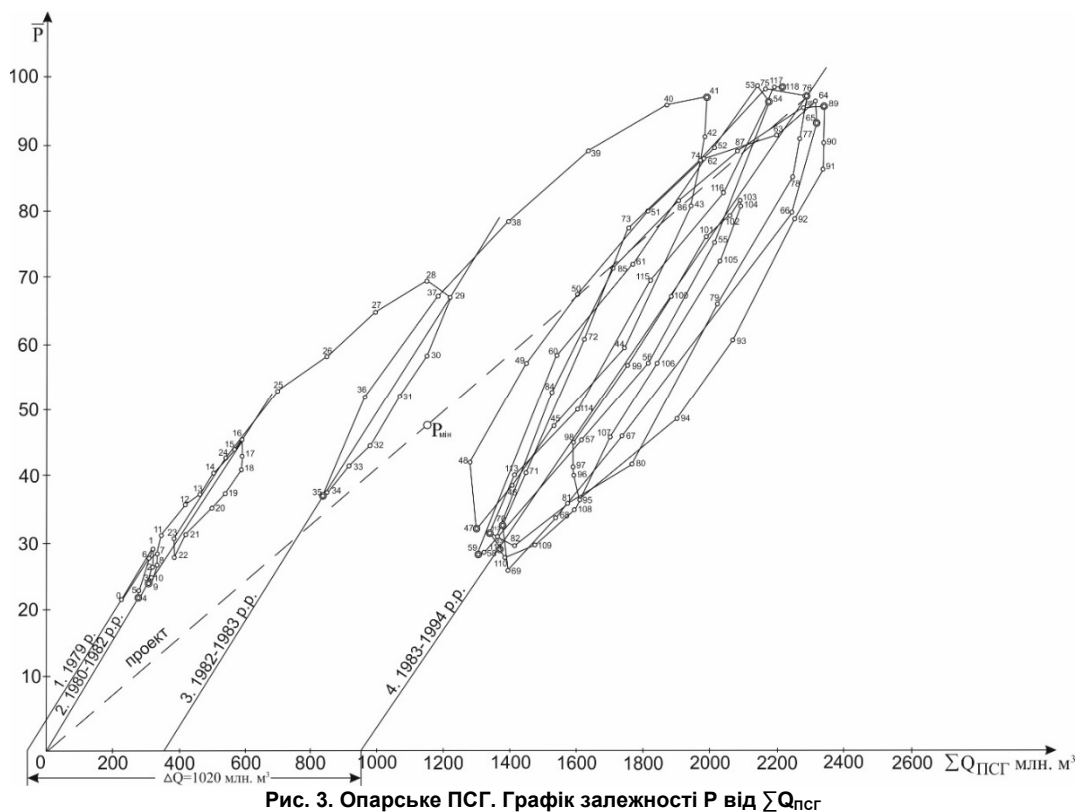


Рис. 3. Опарське ПСГ. Графік залежності P від $\Sigma Q_{\text{ПСТ}}$

За даним графіком можна оцінити активний газонасичений об'єм пласта ω_a , який працює в процесі циклічної закачки:

$$\omega_a = \frac{\Delta Q}{\Delta P}, \quad (1)$$

де ΔQ – об'єм закачуваного або відібраного газу за сезон, млн м³; ΔP – зміна приведенного пластового тиску за сезон.

Як видно із графіка, дана залежність не відповідає залежності для газового режиму, а має вигляд кривих вигнутих уверх при закачуванні газу і вигнутих униз при відборі. При збільшенні об'ємів закачування газу із формуванням газосховища ця залежність зміщується

праворуч по осі абсцис, що пов'язано із заповненням "застійних" слабкодренованих зон у низькопроникних пластах і пропластках.

На графіку залежності $\bar{P} = f(\Sigma Q_{\text{ПСТ}})$ (рис. 3) можна виділити чотири зони, які відповідають окремим періодам роботи ПСГ (1979–1980, 1980–1981, 1982–1983, 1983–1994 рр.). Відрізняються вони між собою об'ємами закачування і відбору газу.

Кожному періоду умовно відповідає певна пряма лінія, яка з часом зі збільшенням об'єму газу в ПСГ зміщується праворуч по осі абсцис. Паралельність цих прямих говорить про те, що активний газонасичений об'єм пласта практично встановився вже на першому періоді роботи газосховища, хоч режим роботи ПСГ стабілізувався

десь після 1983 р. Визначений за формулою, цей об'єм відповідно становить 12,6; 11,5; 12,6; 13,6 млн м³.

Загалом активний газонасичений об'єм пласта можна взяти за останнім періодом роботи ПСГ – 13,6 млн м³.

Об'єм недренованого в процесі роботи ПСГ пласта можна оцінити за величиною $\sum Q_{\text{ПСГ}}$, яка відсікається залежністю на осі абсцис (рис. 3). Проте у зв'язку з тим, що відсутній другий установлений режим роботи ПСГ, його можна оцінити (з певним зниженням), урахувуючи відрізок ΔQ , який відсікається лініями 1–4.

Об'єм "застійних" зон $\omega_{z.z}$ можна оцінити за формулою

$$\omega_{z.z} = \frac{2 \cdot \Delta Q_{\text{ПСГ}}}{\left((P_{\text{cp.zak}} + P_{\text{cp.vdb}})_i - (P_{\text{cp.zak}} + P_{\text{cp.vdb}})_{i-1} \right)}, \quad (2)$$

де $\Delta Q_{\text{ПСГ}}$ – збільшення об'єму газу в "застійних" зонах при зміні роботи ПСГ; $P_{\text{cp.i}}$ і $P_{\text{cp.i-1}}$ – середні приведені пластові тиски для i-го та i-1-го режимів роботи ПСГ; $P_{\text{cp.zak}}$ і $P_{\text{cp.vdb}}$ – середні приведені пластові тиски в кінці сезонів закачки і відбору газу, відповідно для i-го та i-1-го режимів роботи ПСГ;

Об'єм "застійних" зон, оцінений за формулою, становить 16,2 млн м³. Тоді початковий газонасичений об'єм Ω_0 становитиме

$$\Omega_0 = 13,6 + 16,2 = 29,8 \text{ млн м}^3.$$

Якщо взяти обводненість за 5 %, то початковий газонасичений об'єм до розробки родовища мав становити

$$\Omega_0 = \frac{29,8}{0,95} = 31,4 \text{ млн м}^3.$$

Одержані дані певною мірою дозволяють скорегувати величину початкових записів газу Q_0 , які з урахуванням обводнення становитимуть

$$Q_0 = (\omega_a + \omega_{z.z}) P_0, \quad (3)$$

$$Q_0 = 31,4 \cdot 75,44 = 2368,8 \text{ млн м}^3.$$

Для поліпшення технологічних показників експлуатації ПСГ Корективами до технологічної схеми створення

ПСГ (Войціцький, 1993) передбачалося збільшити кількість експлуатаційних свердловин із 79 до 134, у тому числі для горизонту НД-7 – із 38 до 69. При цьому активний об'єм газу ПСГ повинен буде збільшитись до 2400 млн м³/добу, що значно менше, ніж передбачалося технологічною схемою. Проте реалізація Корективів до сьогодення не здійснена.

Для Богородчанського підземного газового сховища

графічна залежність $\bar{P} = f(\sum Q_{\text{ПСГ}})$ (рис. 4) має приблизно такий самий вигляд, як і на Опарському ПСГ, але відхилення розрахункових точок вгору і вниз від результуючої лінії значно менші, що пов'язано з більш однорідними проникними колекторами.

На графіку залежності $\bar{P} = f(\sum Q_{\text{ПСГ}})$ (рис. 4)

можна чітко виділити три зони, які відповідають етапам формування ПСГ.

Як видно з наведених даних, активний газонасичений об'єм фактично сформувався вже на стадії дослідно-промислової експлуатації.

Об'єм "застійної" зони для встановленого режиму роботи ПСГ (рис. 4, пряма лінія 3) становитиме

$$\omega_{z.z} = \frac{270 \cdot 2}{112,9 + 42,4} = 3,48 \text{ млн м}^3.$$

Загальний газонасичений об'єм пласта становитиме $27,60 + 3,48 = 31,08$ млн м³, що практично відповідає газонасиченому об'єму, визначеному за матеріалами розробки (30,66 млн м³).

Як установлено, фактичні технологічні показники експлуатації Опарського ПСГ не відповідають проектним. Зокрема, на 25–35 % виявився нижчим активний об'єм газу, збільшився об'єм буферного газу та знизилася продуктивність ПСГ.

Це пов'язано з тим, що в умовах ПСГ низькопроникні колектори практично не беруть участі у циклічній роботі ПСГ, утворюючи малоактивні "застійні" зони. Графіки залежності наведеного пластового тиску від кількості газу в ПСГ мають еліпсоподібний характер, що обумовлено складними умовами дренавання газового покладу.

На Богородчанському ПСГ, де менш виражена неоднорідність колекторів, фактичні показники експлуатації практично відповідають проекту. Проте і тут виявлено малоактивні "застійні" зони, об'єм яких невеликий.

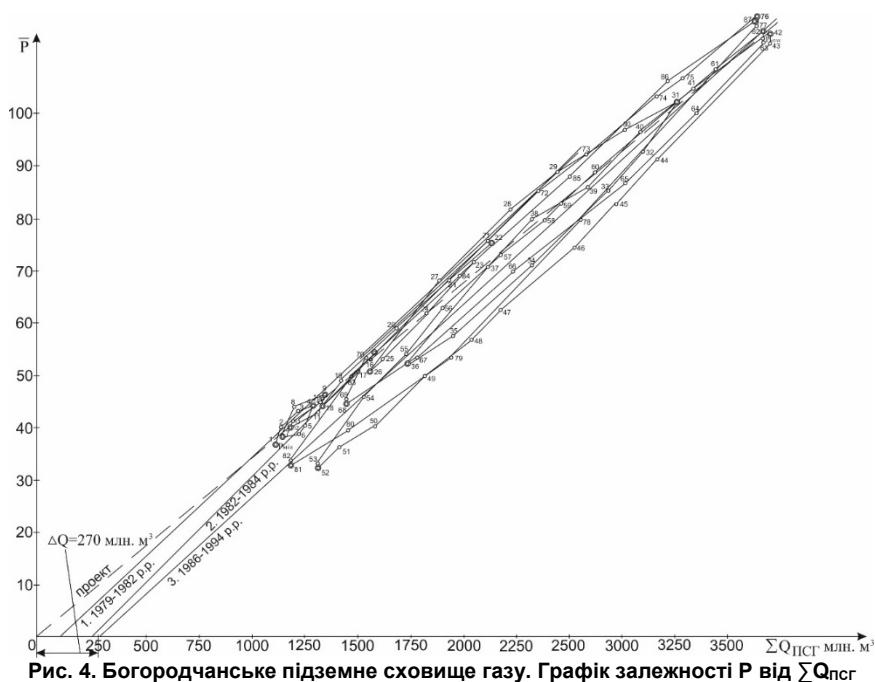


Рис. 4. Богородчанське підземне сховище газу. Графік залежності $\bar{P}$ від $\sum Q_{\text{ПСГ}}$

При експлуатації газосховищ немає можливості виміряти диференційовано пластові тиски по окремих пластах і пропластах. Практично заміряють статичний і пластовий тиски при зупинці свердловини. Проте цей тиск не характеризує середній пластовий тиск по даному елементу газосховища. У зв'язку з різними тисками в окремих пластах мають місце міжпластові перетоки, і цей тиск фактично є динамічним.

У зв'язку з неможливістю виміряти істинний пластовий тиск у промисловій практиці оперують динамічним пластовим тиском. Саме цей тиск є визначальним при розрахунках режиму роботи ПСГ та встановленні об'ємів активного і буферного газу.

На практиці активний газонасичений об'єм пласта визначається за формулою:

$$\omega_{akt} = \frac{Q_{akt}}{P_{pl,max} - P_{pl,min}}, \quad (4)$$

де Q_{akt} – активний об'єм газу в ПСГ при збільшенні середнього пластового тиску від мінімальної до максимальної величини; $P_{pl,max}$ і $P_{pl,min}$ – приведені максимальний і мінімальний середні пластові тиски.

Для однорідного пласта середній пластовий тиск відповідатиме динамічному. Для неоднорідного пласта замість середнього необхідно у формулу (4) підставити значення динамічного пластового тиску, тобто тиску, який контролює роботу ПСГ.

Із зростанням об'єму закачки активний газонасичений об'єм пласта дещо збільшується, що мало місце по Опарському ПСГ.

Умовний газонасичений об'єм пласта, який відповідає ступеню недозаповнення низькопроникних пластів при циклічній роботі газосховища, утворює "застійні" зони. Середній пластовий тиск $P_{cp,z,z}$ у цих зонах можна розрахувати за формулою

$$P_{cp,z,z} = \frac{\Delta Q \cdot P_{at} \cdot Z_{pl} \cdot T_{pl}}{\omega_{z,z} \cdot T_{st}}, \quad (5)$$

де ΔQ – об'єм газу, який не бере участі в циклічній роботі ПСГ; Z_{pl} – коефіцієнт стисливості газу; P_{at} – атмосферний тиск, МПа; $\omega_{z,z}$ – пасивний газонасичений об'єм пласта, який характеризує "застійні" зони і не бере участі у роботі ПСГ; T_{st} і T_{pl} – відповідно стандартна і пластова температура, К.

У процесі експлуатації ПСГ величини максимальних і мінімальних пластових тисків, як правило, регламентовані й залежать в основному від промислово-геологічних особливостей газових покладів і режиму роботи компресорної станції.

Для умов неоднорідних пластів матиме місце значне зниження активного об'єму газу і збільшення буферного його об'єму.

Активний об'єм пласта дорівнюватиме

$$Q_{akt} = \omega_{akt} (P_{max} - P_{min}). \quad (6)$$

Буферний об'єм газу буде розраховуватися за формулою

$$Q_{buf} = \omega_{akt} \cdot P_{min} + \Delta Q, \quad (7)$$

де ΔQ – об'єм газу в "застійних" зонах.

Як уже зазначалося вище, фактичні технологічні показники експлуатації Опарського ПСГ не відповідають проектним. На 25–35 % виявився нижчим активний об'єм газу, збільшився об'єм буферного газу та понизилась продуктивність ПСГ.

Причина в основному одна – неврахування неоднорідності пластів колекторів і приймання до основи технологічних проектів повного газонасиченого порового простору газового покладу, визначеного за матеріалами розробки родовища. Це, у свою чергу, приводить до значного погіршення техніко-економічних показників експлуатації ПСГ: зменшується активний об'єм газу при збільшенні буферного об'єму, зменшується потужність ПСГ, завищується кількість свердловин і потужність компресорної станції.

Собівартість зберігання газу може збільшитись у 1,5–2 рази. Водночас є можливість урахувати зазначені фактори при проектуванні нових газосховищ.

Висновки. 1. На основі вивчення характеру неоднорідності пластів колекторів за розрізом і площею покладів, в яких створені підземні сховища газу Прикарпаття, установлено, що продуктивні пласти Опарського ПСГ значною мірою неоднорідні.

2. Аналіз експлуатації газових покладів, пов'язаних з неоднорідними колекторами, показав, що за циклічної експлуатації ПСГ за рахунок значно вищих темпів зміни тиску, порівняно з процесом розробки газового покладу і періодичності зміни напрямку руху газу в пласті, диференціація пластових тисків по окремих пластах носить більш виражений характер: у процесі циклу закачки-відбору газу зміна тиску від мінімальної до максимальної величини в низькопроникних пластах у 6–8 разів нижча, ніж у високопроникних, створюється ефект "застійних" зон, який спричинює зменшення активного об'єму газу на 20–40 % і більше.

3. Пластовий тиск, який замірюється у свердловинах з метою контролю за роботою ПСГ, не відповідає середньому пластовому тиску по продуктивному горизонту. Його величина залежить від ступеня дренажу окремих пластів і величини міжпластових перетоків і близька до пластового тиску найбільш проникних пластів.

4. При проектуванні ПСГ в умовах неоднорідних колекторів до основи технологічних проектів рекомендується закладати не повний газонасичений поровий об'єм, як це робиться на практиці, а тільки активний, визначений за запропонованою методикою, виключивши об'єм "застійних" зон, що дасть змогу досягти максимального наближення проектних показників до реальних.

Така система проектування скорочує термін вводу ПСГ в експлуатацію, дозволяє більш об'єктивно оцінити його потенційні можливості, виключити непродуктивні витрати та підвищити ефективність зберігання газу.

Список використаних джерел

- Бондарев, В. Л. (1982). Влияние особенностей геологического строения ПХГ на его эксплуатацию (на примере ПХГ Северо-Западного экономического района). *Сборник научных трудов ВНИИГаз*, 5, 27–34.
- Борисов, Ю. П., Воинов, В. В., Рябина, З. К. (1970). Влияние неоднородности пластов на разработку нефтяных месторождений. Москва: Недра.
- Бузинов, С. М., Толкушин, Г. Ф. (1979). Методы оптимизации технологических параметров подземных хранилищ газа. *Реферативный сборник. Транспорт и хранение газа ВНИИГазпром*, 8, 34–37.
- Войцицкий, В. П. (Рук.). (1986). Анализ эксплуатации Угерского (XIV–XV), Дашавского и Богородчанского ПХГ и рекомендации по выводу их на проектный режим. *Отчет о НИР (заключит.)*. УкрНИИГаз. Харьков.
- Войцицкий, В. П. (Кер.). (1993). Корективи до технологічного проекту експлуатації Опарського ПСГ. *Звіт з НДР*. УкрНДІГаз. Харків.
- Гімер, Р. Ф., Гімер, П. Р., Деркач, М. П. (2001). Підземне зберігання газу. Івано-Франківськ: Факел.
- Григорьев, В. С. (1983). Особенности разработки и подсчета запасов низкопроницаемых коллекторов. *Нефтяная и газовая промышленность*, 3, 33–35.
- Дементьев, Л. Ф. (1966). Статистические методы обработки и анализа промыслово-геологических данных. Москва: Недра.
- Дубей, Н. В. (2017). Статистичні методи обробки та аналізу в нафтогазопромисловій геології. *East European Scientific Journal*, 3(19), 20–24.
- Ковальчук, Н. Р. (1979). Особенности геологического строения Угерского подземного хранения газа по данным доразведки месторождений. *Нефтяная и газовая промышленность*, 4, 35–37.

Леськів, І. В., Шерба, В. М. (1979). Геолого-геофізичні дослідження при розшуках газу в Передкарпатському прогині. Київ: Наукова думка.

Митрофанова, Т. Н. (1976). К обработке исходных данных для проектирования газохранилищ в слоисто-неоднородных пластах. *Реферативный сборник Транспорт и хранение газа ВНИИ Газпром*, 4, 21-26.

Сви́хнушин, Н. М., Азаматов, В. И. (1971). Методы изучения неоднородности коллекторов при оценке кондиций и подсчете запасов. Москва: Недра.

Середюк, М. Д., Савків, Б. П. (2015). Підземне зберігання газу. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ.

Солдаткин, Г. И. (1975). Основные достижения и научно-исследовательские задачи в области эксплуатации подземных хранилищ газа. *Реферативный сборник: Транспорт и хранение газа ВНИИ Газпром*, 1, 10-15.

Ширковский, А. И., Задора, Г. И. (1974). Добыча и подземное хранение газа. Москва: Недра.

References

Bondarev, V. L. (1982). Vliyanie osobennostey geologicheskogo stroeniya PHG na ego jekspluataciju (na primere PHG Severo-Zapadnogo jekonomicheskogo rajona). *Sbornik nauchnyh trudov VNIIGaz*, 5, 27-34. [in Russian]

Borisov, U. P., Voinov, V. V., Rjabinina, Z. K. (1970). Vliyanie neodnorodnosti plastov na razrabotku nefjanij mestorozhdenij, risov. Moskva: Nedra. [in Russian]

Buzynov, S. M., Tolkushyn, H. F. (1979). Metody optimizatsyy tekhnologicheskikh parametrov podzemnykh khranilyshch haza. *Referativnyi sbornik Transport i khraneniye haza VNIIE Hazprom*, 8, 34-37. [in Russian]

Dement'ev, L. F. (1966). Statisticheskie metody obrabotki i analiza promislovo-geologicheskikh dannyh. Moskva: Nedra. [in Russian]

Dubei, N. V. (2017). Statystychni metody obrobky ta analizu v naftohazopromyslovii heolohii. *East European Scientific Journal*, 3(19), 20-24. [in Ukrainian]

Grigor'ev, V. S. (1983). Osobennosti razrabotki i podschjota zapasov nizkopronicaemykh kolektorov. *Nefjanaja i gazovaja promyshlennost'*, 3, 33-35. [in Russian]

Himer, R. F., Himer, P. R., Derkach, M. P. (2001). Pidzemne zberihannia hazu. Ivano-Frankivsk: Fakel. [in Ukrainian]

Koval'chuk, N. R. (1979). Osobennosti geologicheskogo stroeniya Ugerskogo podzemnogo hranenija gaza po dannym dorazvedki mestorozhdenij. *Nefjanaja i gazovaja promyshlennost'*, 4, 35-37. [in Russian]

Leskiv, I. V., Shcherba, V. M. (1979). Heoloho-heofizychni doslidzhennia pry rozshukakh hazu v Peredkarpatskomu prohyni. Kyiv: Naukova dumka. [in Ukrainian]

Mitrofanova, T. N. (1976). K obrabotke ishodnyh dannyh dlja proektirovaniya gazohraniliw v sloisto-neodnorodnyh plastah. *Referativnyj sbornik Transport i hranenie gaza. VNIIE Hazprom*, 4, 21-26. [in Russian]

Serediuk, M. D., Savkiv, B. P. (2015). Pidzemne zberihannia hazu. Ivano-Frankivsk: IFNTUNH. [in Ukrainian]

Shyrkovskiy, A. Y., Zadora, H. Y. (1974). Dobycha y podzemnoe khraneniye haza. Moskva: Nedra. [in Russian]

Soldatkin, G. I. (1975). Osnovnye dostizheniya i nauchno-issledovatel'skie zadachi v oblasti jekspluatatsii podzemnykh hraniliw gaza. *Referativnyj sbornik Transport i hranenie gaza. VNIIE Hazprom*, 1, 10-15. [in Russian]

Svihnushin, N. M., Azamatov, V. I. (1971). Metody izuchenija neodnorodnosti kolektorov pri ocenke kondicij i podschete zapasov. Moskva: Nedra. [in Russian]

Voitsitskiy, V. P. (Head). (1993). Korektyvy do tekhnolohichnoho proektu jekspluatatsii Oparskoho PSH. *Zvit z NDR. UkrNDIHaz*. Kharkiv. [in Ukrainian]

Voitsitskiy, V. P. (Head). (1986). Analiz jekspluatatsiy Uherskoho (XIV-XV), Dashavskoho y Bohorodchanskoho PKhH y rekomendatsyy po vyvodu ykh na proektniy rezhym. *Otchet o NYR (zakliuchyt.)*. UkrNYH Haz. Kharkov. [in Russian]

Надійшла до редколегії 14.12.18

N. Dubei, Cand. Sci. (Geol.-Min.), Assoc. Prof.

E-mail: nata0509@i.ua

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

Institute of Natural Sciences and Tourism, 15, Carpatska Str., Ivano-Frankivsk, 76019, Ukraine

THE INFLUENCE OF GEOLOGICAL HETEROGENEITY OF LAYERS ON THE WORK OF UNDERGROUND GAS STORAGE FACILITIES

As a result of the analysis of studies in the field of the creation and operation of underground gas storage facilities (PSG) in the conditions of heterogeneous reservoirs, the lack of a comprehensive method for incorporating the heterogeneity factor at the stage of their design is established. As a result, there is a significant overestimation of project indicators comparing to actual and a decrease in the efficiency of the operation of the subsystem.

In this article, the author presents methodological developments for the account of the heterogeneity of the reservoir at the design stage of the UGS, which contains specific proposals for the refinement of initial stocks and gas-saturated reservoir volume by reinterpreting the dependence of reduced reservoir pressure on the total amount of gas in underground gas storage.

The purpose of this work is to assess the impact of geological and industrial factors on the technological performance of the PSG, created in exhausted gas deposits, by comparing the characteristics of the work of Oparsky and Bogorodchansky UGS. To achieve this goal, the geological-industrial features of the Oparsky and Bogorodchansky UGS have been investigated; the methodology for studying geological heterogeneity has been developed; the influence of geological factors on the technological parameters of the operation of the UHF is investigated.

The results of the study are of practical importance. The use of the methodology for studying the nature of the heterogeneity of reservoir layers is necessary in the design of new gas storage facilities and in the adjustment of technological projects on gas-fired power stations that are in operation and created in non-uniform collectors.

Keywords: underground storage of gas, heterogeneity of reservoir layers, permeability, geological-industrial features, design, creation, operation of PSG, reservoir pressure.

Н. Дубей, канд. геол.-минералог. наук, доц.

E-mail: nata0509@i.ua

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Інститут естественных наук и туризма, ул. Карпатская, 15, г. Ивано-Франковск, 76019, Украина

ВЛИЯНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ ПЛАСТОВ НА РАБОТУ ПОДЗЕМНЫХ ГАЗОХРАНИЛИЩ

В результате проведенного анализа исследований в области создания и эксплуатации подземных хранилищ газа (ПХГ) в условиях неоднородных коллекторов установлено отсутствие комплексной методики учета фактора неоднородности на стадии их проектирования. В результате имеет место значительное завышение проектных показателей по сравнению с фактическими и снижение эффективности работы ПХГ.

Автор приводит методические разработки по учету неоднородности пласта на стадии проектирования ПХГ, которые содержат конкретные предложения по уточнению начальных запасов и газонасыщенного объема пласта путем переинтерпретации зависимости приведенного пластового давления от суммарного количества газа в подземных хранилищах газа.

Целью данной работы является оценка влияния геолого-промысловых факторов на технологические показатели эксплуатации ПХГ, созданных в истощенных газовых залежах, путем сравнительной характеристики работы Опарского и Богородчанского ПХГ. Для достижения поставленной цели исследованы геолого-промышленные особенности Опарского и Богородчанского ПХГ; разработана методика изучения геологической неоднородности; исследовано влияние геологических факторов на технологические показатели эксплуатации ПХГ.

Результаты исследования имеют практическое значение. Использование методики изучения характера неоднородности пластов-коллекторов необходимо при проектировании новых газохранилищ и при корректировке технологических проектов по ПХГ, находящихся в эксплуатации и созданных в неоднородных коллекторах.

Ключевые слова: подземное хранилище газа, неоднородность пластов коллекторов, проницаемость, геолого-промышленные особенности, проектирование, эксплуатация ПХГ, пластовое давление.

ГЕОЛОГІЯ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН

УДК 553.048

Г. Рудько, д-р геол.-мінералог. наук, д-р геогр. наук
д-р техн. наук, проф., голова ДКЗ України

E-mail: office@dkz.gov.ua

Державна комісія України по запасах корисних копалин
вул. Кутузова 18/7, оф. 816, м. Київ, 01133, Україна

ORCID-0000-0001-7752-4310;

I. Михайлів, канд. геол. наук, доц.

E-mail: iramykhailiv@ukr.net

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна

ORCID-0000-0003-4363-9974

СТАНДАРТ PRMS-SPE: МЕТОДИЧНІ АСПЕКТИ, РЕЗУЛЬТУЮЧА ЗВІТНІСТЬ І МОЖЛИВІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ДО ГЕО ЗАПАСІВ НАФТИ І ГАЗУ В УКРАЇНІ

(Представлено членом редакційної колегії д-ом геол.-мінерал. наук, проф. М. М. Коржневим)

Наведено детальну характеристику PRMS-SPE як однієї з провідних міжнародних систем з оцінювання запасів і ресурсів вуглеводнів, згідно з якою їхні категорії й класи виділяються за ступенем вивченості покладів (достовірності), очікуваним економічним ефектом від їхнього освоєння та станом наявних свердловин. Виконано підрахунок запасів вуглеводнів газового родовища за критеріями PRMS-SPE і проведено зіставлення отриманих результатів з вимогами Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр, якою визначені єдині методичні принципи підрахунку, обліку, контролю та управління запасами корисних копалин в Україні. Установлено, що підраховані обсяги вуглеводнів між собою певною мірою зіставимі в загальній величині, проте перерозподілені між собою за різними групами та категоріями. Звітність із запасів/ресурсів за цими двома стандартами кардинально різниться між собою, що визначається відмінностями в підходах до виділення категорій та встановлення меж, за якими проводиться підрахунок запасів.

Ключові слова: підрахунок запасів, класифікація, надрокористування, економічна ефективність.

Постановка проблеми. Мінерально-сировинна база є міцним фундаментом для успішного розвитку народного господарства будь-якої держави, тоді як звітність про обсяги та якість запасів корисних копалин визначається різними стандартами і нормативними документами, проте має бути публічна і зрозуміла всім зацікавленим сторонам. Зближення між системами звітності, що застосовуються різними країнами, з одного боку, приведе до формування єдиних термінів, дефініцій та принципів оцінки, з іншого – сама процедура такої гармонізації є надзвичайно складною і вимагає зміни власне законодавчої бази і проведення переоцінки всіх виявлених запасів корисних копалин, що у свою чергу потребує значних витрат як коштів, так і часу.

Визнаними стандартами звітності із запасів корисних копалин є Рамкова класифікація викопних енергетичних і мінеральних запасів і ресурсів Організації об'єднаних націй (РКООН-2009) (*Рамочная классификация ООН, 2010*) та Система управління нафтовими ресурсами (СУНР, англ. Petroleum Resources Management System (PRMS- SPE)) (*Petroleum Resources Management System, 2007*), які застосовуються державними та загальноувизнаними міжнародними фінансовими і промисловими структурами, що вивчають і використовують світовий баланс енергетичних і мінеральних ресурсів.

В Україні єдині методичні принципи підрахунку, обліку, контролю та управління запасами корисних копалин, які перебувають у надрах, визначені "Класифікацією запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр" (надалі Класифікація) (*Класифікація запасів і ресурсів..., 1997*), а реалізація її положень (щодо вуглеводнів зокрема) визначається "Інструкцією із застосування Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр до геолого-економічного вивчення ресурсів перспективних ділянок і запасів родовищ нафти і газу" (*Інструкція із застосування Класифікації..., 1998*), у якій містяться детальні вимоги до вивченості покладів нафти і газу, методів їхнього опробування, оконтурення та підрахунку залежно від геолого-промислових умов залягання, складності їхньої геологічної будови та інших чинників, що впливають на достовірність геолого-економічної оцінки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нині питанням аналізу та зіставлення різноманітних стандартів і класифікацій присвячено низку досліджень, переважно фахівців ДКЗ України. Також розгляд зазначених питань і активне дискусювання їх здійснюється на щорічних науково-практичних конференціях "Надрокористування в Україні: перспективи інвестування", які спільно проводять Державна служба геології та надр України і Державна комісія України по запасах корисних копалин (*Надрокористування в Україні..., 2014; 2015; 2016; 2017*).

Виділення нерозв'язаних раніше частин загальної проблеми. Національна класифікація України адаптована до вимог РКООН зразка 2009 р. та апробована більше ніж на 300 родовищах нафти і газу, які обліковані Державним балансом України. Відповідно звітність по запасах і ресурсах, у т. ч. вуглеводнів, подається з використанням трипорядкових кодів, що є більш-менш зрозумілим для іноземного інвестора або аудитора.

Що стосується стандарту PRMS-SPE, то в нашій державі не проводиться категоризація і не виконується оцінка запасів і, відповідно, не подається звітність за його вимогами.

Зважаючи на те, що PRMS-SPE є визнаним стандартом звітності для нафтової та газової промисловості й широко використовується світовою спільнотою, функціонує незалежно від РКООН-2009, і його застосування є обов'язковим при поданні звітності по запасах вуглеводнів. Тому залишається актуальним питання: наскільки відмінними будуть результати підрахунку запасів і власне звітність, представлена за різними стандартами і як зміниться звична нам структура запасів, застосовуючи для визначення їхніх обсягів методичні прийоми за стандартом PRMS-SPE.

Формулювання цілей статті. Використовуючи категорії запасів/ресурсів і критерії їхнього виділення за стандартом PRMS-SPE, виконати оцінку (підрахунок) запасів вуглеводнів родовища та зіставити отримані результати з вимогами Національної класифікації України.

Виклад основного матеріалу досліджень варто розпочати власне з огляду самої класифікаційної системи PRMS-SPE (рис. 1), основної термінології та категорій, за

якими проводиться оцінка обсягів вуглеводнів і принципів категоризації підрахованих обсягів вуглеводнів.

У спрощеному варіанті система класифікації представлена на рис. 1, відповідно її базою є такі основні визначення (термінологія):

• **загальні початкові геологічні ресурси та запаси**

– кількість вуглеводнів, які початково містяться, згідно з наведеними оцінками, у природних покладах вуглеводнів. До них належать як підраховані кількості вуглеводнів у відкритих на дату підрахунку покладах до початку їхньої експлуатації, так і підрахована кількість вуглеводнів у покладах, відкриття яких очікується в майбутньому.

• **відкриті початкові геологічні ресурси та запаси** – це підрахована кількість вуглеводнів, яка міститься у відкритих покладах на дату підрахунку до початку видобутку. До них належать:

• видобуток – накопичена кількість вуглеводнів, вилучена на певну дату (товарна і нетоварна продукція);

• запаси – кількість вуглеводнів, яку передбачається видобути в промисловому масштабі з відкритих покладів шляхом реалізації проектів їхньої розробки, починаючи з

указаної дати, за заданих техніко-економічних умов (**Комерційні проекти**);

• умовні ресурси – кількість вуглеводнів, які потенційно видобувні, але видобуток яких на дату підрахунку не може вестися в промислових масштабах у силу одного або декількох обмежень (**Умовно-комерційні проекти**);

• **невідкриті початкові геологічні ресурси та запаси** – кількість вуглеводнів, яка міститься у покладах, не відкритих на дату підрахунку. Вони містять:

• перспективні ресурси – кількість вуглеводнів, які потенційно видобувні, за остаточною оцінкою на певну дату, з невідкритих покладів у ході реалізації майбутніх проектів розробки.

• **невидобувні запаси і ресурси** – частина відкритих і невідкритих початкових геологічних запасів і ресурсів вуглеводнів, яка згідно з оцінками на певну дату не може бути вилучена в ході майбутніх проектів розробки покладів вуглеводнів (**частина може стати видобувною у випадку зміни економічної ситуації або появи нових технологій видобутку**).

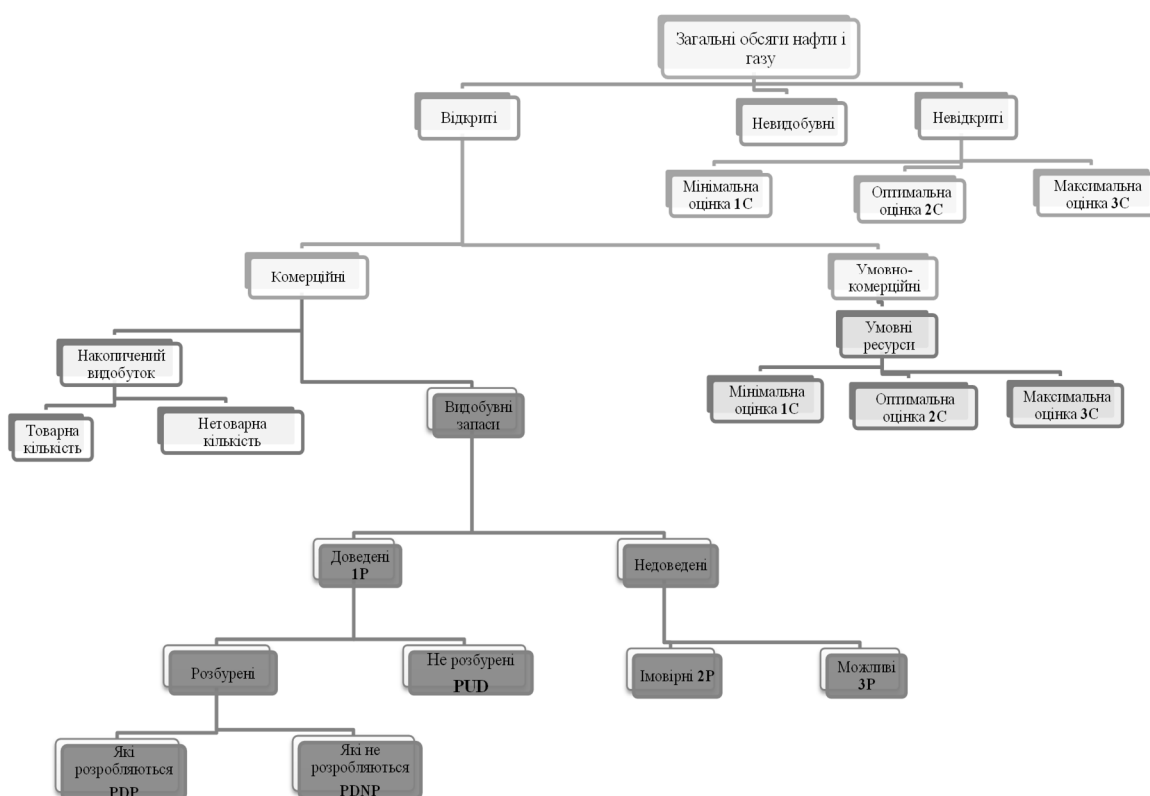


Рис. 1. Структура класифікації PRMS-SPE

Водночас процес оцінки запасів і ресурсів, що полягає у визначенні обсягів початкових геологічних запасів і ресурсів і виділенні власне величини їхньої видобувної частини, вимагає обґрунтування проекту розробки покладів вуглеводнів. Загалом проект відображає рівень прийняття рішення про продовження робіт (тобто вкладення коштів) і визначає обсяги підрахованих видобувних запасів за цим проектом. Відповідно подальша категоризація обсягів вуглеводнів відбувається за такою ознакою, як стан проектів розробки, серед яких за імовірністю досягнення стадії промислового значення виділяють від "можливого пошукового проекту", тобто обґрунтовується імовірність відкриття покладу нафти і газу, до "стадії видобутку". У цьому випадку концепція імовірності досягнення стадії промислового значення проекту є основним принципом управління портфелем інвестицій.

Причому, ураховуючи імовірність виходу проекту на рівень рентабельної промислової експлуатації згідно з класифікацією PRMS-SPE обсяги видобувних запасів і ресурсів мають забезпечити:

• на стадії "видобутку" – дохід від реалізації вилучених вуглеводнів, однак сам проект розробки може бути ще незавершеним, проте прийнято рішення про початок промислового видобутку;

• на стадії "розробка затверджена" – повну впевненість у просуванні проекту розробки до стадії видобутку; відсутність будь-яких перешкод, а саме вирішені питання з дозвільною документацією та прийняте рішення про початок інвестування будівництва промислових об'єктів і буріння видобувних свердловин;

- на стадії "обґрунтовано до розробки" – підтверджену промислово значимість проекту та прийняття рішення про вихід проекту на рівень технічної й економічної проробки, достатньої для обґрунтування початку розробки запасів з конкретного моменту часу;

- на стадії "розробка очікується" – обґрунтовану впевненість щодо можливої промислової розробки покладів вуглеводнів і прийняття рішення про збір додаткових даних або проведення додаткових досліджень з метою переведення проекту на більш високий рівень технічної та економічної проробки, на якій може бути прийнято рішення про продовження розробки та початок видобутку;

- на стадії "розробка не обґрунтована або припинена" – необхідність прийняття рішення щодо продовження додаткових аналітичних робіт з метою виявлення можливості промислової розробки або про відтермінування подальших робіт до моменту усунення зовнішніх непередбачуваних обставин;

- на стадії "розробка нерентабельна" – необхідність прийняття рішення щодо недоцільності проведення будь-яких робіт зі збору даних або аналізу проекту на осяжну перспективу;

- на стадії "перспективний пошуковий об'єкт" – проведення оцінки імовірності відкриття покладу і за умови відкриття – визначення діапазону величин обсягів вуглеводнів, потенційно видобувних за результатами реалізації проекту їхньої промислової розробки;

- на стадії "імовірний пошуковий об'єкт" – проведення збору додаткових даних або проведення додаткового аналізу для підтвердження імовірності відкриття покладу і за умови відкриття – визначення діапазону величин обсягів вуглеводнів потенційно видобувних за реалізації технічно можливих сценаріїв розробки;

- на стадії "можливий пошуковий об'єкт" – проведення збору додаткових даних або проведення додаткового аналізу для визначення конкретних можливих або перспективних пошукових об'єктів для більш детальної оцінки імовірності відкриття покладу і за умови відкриття – визначення діапазону величин обсягів вуглеводнів, потенційно видобувних за реалізації гіпотетично можливих сценаріїв розробки.

Отже, стандарти PRMS-SPE ураховують не лише імовірність того, що вуглеводні фізично присутні в геологічній структурі, але й економічну ефективність вилучення цих запасів (включаючи такі фактори, як витрати на розвідку та буріння, поточні виробничі витрати, транспортні витрати, податки, сформовані ціни на продукцію та інші чинники, що впливають на економічну ефективність розробки покладу).

Відповідно основними об'єктами розгляду класифікації, що мають і можуть мати комерційну привабливість, є *запаси* та частково *умовні ресурси*, тобто обсяги початкових видобувних запасів, які потенційно можливо вилучити з будь-якого покладу (відкритого або невідкритого) на певну дату за певних технічних та економічних умов, плюс обсяги видобутої продукції (рис. 2).

Подальша категоризація запасів відбувається за ступенем їхньої достовірності, у свою чергу виділяються три категорії: *доведені*, *імовірні* й *можливі*, які відзначаються чіткими вимогами щодо їхнього виділення.

На загал, запаси визначають ринкову вартість компанії, а власне доведені запаси впливають на її доходи та використовуються при стратегічному плануванні діяльності.

Доведені запаси (1P, *proved*) характеризуються високим ступенем упевненості успішного вилучення підрахованих обсягів вуглеводнів або має існувати 90 % імовірності того, що фактично вилучена кількість вуглеводнів дорівнюватиме або перевищить кількість, визначену за результатами оцінки.

Доведені запаси виділяються на ділянках, оконтурених бурінням і обмежених флюїдоконтактами (за їхньої наявності) та на прилеглих нерозбурених ділянках, які за наявними інженерно-геологічними даними можна обґрунтовано вважати промислово-продуктивними.

За відсутності даних про флюїдоконтакти величина доведених запасів покладу обмежується нижньою межею нафтогазоносності (НГП), установленюю за даними буріння свердловин, якщо інше не підтверджено достовірними інженерно-геологічними або промисловими даними.

Доведені запаси включають (див. рис. 1):

- розбурені (*developed*), на які встановлено необхідне нафтогазовидобувне обладнання або за умови, що витрати на установку такого обладнання незначні порівняно з витратами на буріння свердловини;

- нерозбурені (*undeveloped*, PUD), які очікується вилучити із:

- 1) нових свердловин на нерозбурених ділянках покладу;
- 2) за рахунок переведення свердловин на горизонти, що залягають нижче, з установленюю продуктивністю;
- 3) свердловин, пробурених для ущільнення експлуатаційної сітки з метою збільшення видобутку;
- 4) із пробурених свердловин, які потребують значних витрат на переведення на інші горизонти або для монтажу об'єктів видобутку, транспортування у межах проєктів первинного видобутку або методів підвищення віддачі пластів.

Водноас розбурені запаси диференційовано ще на дві частини:

- які розробляються (*developed producing*, PDP) – будуть вилучені з розкритих і працюючих на дату підрахунку інтервалів, у т. ч. після початку застосування методів збільшення віддачі пластів;

- які не розробляються (*developed non-producing*, PDNP) – будуть вилучені з:

- 1) інтервалів, які розкриті, але які не працюють на дату підрахунку;
- 2) свердловин, які перебувають у консервації з причин несприятливої ринкової ситуації або відсутності трубопроводної інфраструктури;
- 3) свердловин, які неможливо експлуатувати з технічних причин.

Такі обсяги запасів за стандартами PRMS-SPE належать до так званих "простійних". Також до розбурених, які не розробляються, належать запаси, які очікується вилучити із зон за обсадною колоною в існуючих свердловинах і для початку вилучення яких необхідно провести додаткові роботи з розкриття (т. зв. "затрубні"). Однак у всіх цих випадках передбачається, що видобуток може бути розпочатий або відновлений при відносно невеликих витратах порівняно з витратами на буріння нової свердловини (до 30 %).

Запаси нерозбурених ділянок можуть бути віднесені до категорії *Доведених за умови*, що:

- для нерозбурених ділянок покладів упевнено обґрунтована можливість їхньої промислової розробки;

- результати інтерпретації наявних інженерно-геологічних і промислових даних зазначають з обґрунтованою достовірністю на безперервне простягання продуктивного пласта за межами ділянок з доведеними запасами.

Для доведених запасів нерозбурених ділянок коефіцієнт вилучення вуглеводнів визначається на основі діапазону можливих значень, прийнятих за аналогією, а також за обґрунтованою інженерною оцінкою з урахуванням характеристик ділянки залягання Доведених запасів і застосовуваної технологічної схеми розробки покладу.

Отже, згідно із стандартами PRMS-SPE виділення доведених запасів жорстко прив'язано до успішно випробування свердловин, не допускає відхилень від єдино

можливого способу обмеження ділянок їхнього підрахунку і лише *отримання промислових припливів* є підставою для виділення доведених запасів. Проте виділення

ділянок з доведеними запасами можливе за даними буріння й успішного випробування лише двох свердловин і не потребує детальної розвідки цілого родовища.

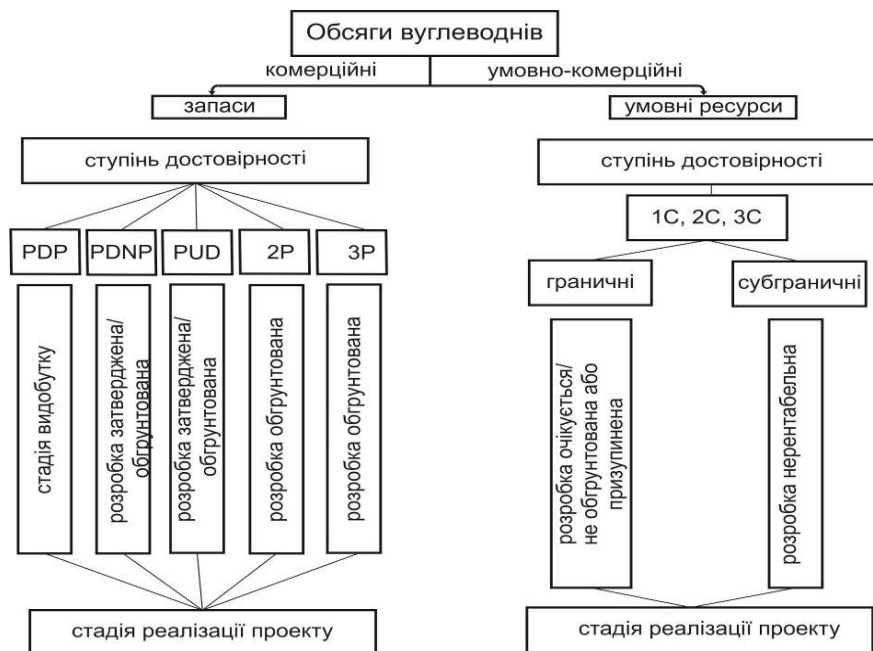


Рис. 2. Структура обсягів вуглеводнів за стадіями реалізації проекту

Імовірні запаси характеризуються однаковою імовірністю того, що величина видобувних залишкових обсягів вуглеводнів буде більшою або меншою, ніж сума підрахованих доведених та імовірних запасів (2P, *proved+probable*).

У цьому контексті, за умови використання імовірнісних методів оцінки, має існувати принаймні 50 %-ва імовірність того, що фактично видобута кількість вуглеводнів дорівнюватиме або перевищить величину 2P.

Імовірні запаси виділяються на ділянках покладу, прилеглих до ділянок з Доведеними запасами, де наявні дані або результати їхньої інтерпретації є менш достовірними, ніж для Доведених запасів. При цьому інформація про витриманість продуктивного пласта також може бути визначена з меншою достовірністю.

Оцінка імовірних запасів включає приріст видобувних обсягів вуглеводнів, які належать до проектів з коефіцієнтом вилучення, нижче величини, прийнятої для доведених запасів.

Можливі запаси характеризуються низькою імовірністю того, що величина видобувних залишкових обсягів вуглеводнів буде більша, ніж сума підрахованих доведених, імовірних і можливих запасів (3P, *proved + probable + possible*). У цьому контексті у випадку використання імовірнісних методів оцінки повинна існувати принаймні 10 %-ва імовірність того, що фактично видобута кількість запасів дорівнюватиме або перевищить величину 3P.

Можливі Запаси виділяються на ділянках покладу, прилеглих до ділянок імовірних запасів, де наявні дані або результати їхньої інтерпретації є менш достовірними, ніж у Імовірних запасів.

Така ситуація може мати місце на ділянках, де наявних інженерно-геологічних і промислових даних недостатньо для визначення границь покладів за площею і розрізом і, відповідно, загальних обсягів вуглеводнів, які можуть бути вилучені з такого покладу в результаті реалізації проекту їхньої розробки.

Оцінка можливих запасів включає приріст видобувних обсягів вуглеводнів, які належать до проектів з коефіцієнтом вилучення нижче величини, прийнятої для Імовірних запасів.

Імовірні і/або можливі запаси виділяються в тих випадках, коли наявні інженерно-геологічні й промислові дані безпосередньо вказують на наявність прилеглих ділянок нафтогазоносного пласта в межах одного покладу, які можуть бути відокремлені від ділянок доведених запасів невеликими тектонічними розломами або іншими геологічними порушеннями, причому дані ділянки не розкриті бурінням, проте щодо них є дані, що підтверджують наявність гідродинамічного зв'язку між ними і ділянками покладу з доведеними запасами. Імовірні або можливі запаси можуть виділятися на ділянках, розташованих вище за розрізом, від ділянок з доведеними запасами. Можливі (і в деяких випадках імовірні) запаси можуть виділятися на ділянках, розташованих нижче за розрізом від прилеглих ділянок з доведеними запасами або ділянок 2P.

Отже, віднесення видобувних обсягів вуглеводнів до класу *запасів* залежить, крім геологічних і технологічних характеристик проекту видобутку, також від виконання низки юридичних, контрактних та інфраструктурних умов, а також прогнозних економічних параметрів.

Порівняння оцінених обсягів запасів: національна класифікація України

Зіставлення результатів оцінки запасів вуглеводнів за різними класифікаціями виконано на прикладі одного з газових родовищ Львівської області. У тектонічному відношенні воно розташовано в межах північно-західної частини Зовнішньої зони Передкарпатського прогину, безпосередньо в зоні регіонального порушення, що обумовлює особливості його будови – структура простягається вздовж порушення, занурюється на південний захід і розбита на окремі блоки.

Промислова газоносність родовища пов'язана з горизонтами ВД-13, ВД-14 верхньодашавської підсвіти та горизонтами НД-1, НД-2 нижньодашавської підсвіти сармату.

Промислові припливи отримано у свердловинах № 1, 4, 6, 9 та 10, усі інші свердловини (№ 2, 3, 5 та 7) ліквідовані з геологічних причин. На дату оцінки родовище перебуває у ДПР, а свердловини № 1, 4, 6 та 9 – у діючому експлуатаційному фонді.

Ступінь геологічного та техніко-економічного вивчення родовища дозволили в межах родовища виділити ділянки з розвіданими (клас 111 + 211) та попередньо-розвіданими (класи 122 + 222 та 332) запасами, для яких було встановлено їхнє промислове значення.

Виділення класів запасів та обґрунтування меж їхнього поширення виконано згідно з вимогами Інструкції (Інструкція із застосування, 1998) та подано в табл. 1.

Таблиця 1

Обґрунтування категорій запасів				
	Блок	Класи запасів	Обґрунтування виділення	
ВД-13 (рис. 3, а)				
1	Св. 1, 4	Розвідані запаси класу 111 + 211 виділено в зонах дренування св. 1 та 4, радіуси яких становлять відповідно 200 і 121 м Решта запасів блока в межах УГВК (абсолютна відмітка –385,8 м) віднесено до попередньо розвіданих класу 122 + 222	– св. 1 та 4 в експлуатації, радіуси обґрунтовано за фактичними даними – примикають до ділянок з розвіданими запасами	
2	Св. 9	Розвідані запаси класу 111 + 211 виділено в межах УГВК (абсолютна відмітка –327,1 м)	– св. 9 в експлуатації	
3	Св. 6	Розвідані запаси класу 111 + 221 виділено в межах УГВК (абсолютна відмітка –300,0 м)	– св. 6 в експлуатації	
4	Св. 10	Попередньо-розвідані запаси класу 122 + 222 виділені в зоні дренування св. 10, радіус якої становить 500 м Решта запасів блока в межах НГВП (абсолютна відмітка –307,9 м) віднесена до попередньо розвіданих класу 332	– у св. 10 отримали промисловий приплив газу при випробуванні в колонії, в експлуатації не перебувала – примикають до ділянок із запасами вищого класу; – недостатня якість сейсмічних досліджень, що впливає на модель геологічної будови покладу у блоці; – не пробурено інших свердловин	
ВД-14 (рис. 4, а)				
5	Св. 1, 4	Попередньо розвідані запаси класу 332 у межах УГВК (абсолютна відмітка –401,8 м)	– у св. 1, 4 – отримали промислові припливи газу (випробовувався спільно з горизонтом НД-1 та НД-2); – горизонт виділено за даними ГДС; – промислова експлуатація не проводилась	
6	Св. 6	Попередньо-розвідані запаси класу 332 у межах УГВК (абсолютна відмітка –316,8 м)	– у св. 6 отримали промисловий приплив газу; – горизонт виділено за даними ГДС; – промислова експлуатація не проводилась	
НД-1 (рис. 5, а)				
7	Св. 1, 4	Попередньо-розвідані запаси класу 332 у межах УГВК (абсолютна відмітка –426,2 м)	– у св. 1, 4 отримали промислові припливи газу (випробовувався спільно з горизонтами ВД-13 та ВД-14); – горизонт виділено за даними ГДС; – промислова експлуатація не проводилась	
НД-2 (рис. 6, а)				
8	Св. 1, 4	Попередньо розвідані запаси класу 332 у межах УГВК (абсолютна відмітка –447,2 м)	– у св. 4 отримали непромисловий приплив газу (випробовувався спільно з горизонтами ВД-14 і НД-1); – у св. 1 не випробовувався	

Підрахунок запасів виконано об'ємним методом за формулою М. А. Жданова та методом падіння пластового тиску. Обґрунтування підрахункових параметрів виконано за даними, отриманими в результаті комплексної інтерпретації результатів промислово-геофізичних досліджень і за даними лабораторних досліджень проб пластових флюїдів (Інструкція із застосування Класифікації, 1998). Слід

зауважити, що площа газонасності обмежується тектонічними порушеннями, установленними за даними сейсморозвідувальних робіт і флюїдоконтактами, положення яких обґрунтовано за даними ГДС і результатами випробування, оскільки жодна з пробурених свердловин не розкрила ГВК (табл. 2).

Таблиця 2

Обґрунтування положення флюїдоконтактів				
Продуктивний горизонт	Абсолютні позначки флюїдоконтактів, м			
	УГВК	Обґрунтування *	ГВК	Обґрунтування **
ВД-13				
Блок св. 1, 4	–385,5	за даними ГДС у св. 1	–382,8	св. 1
Блок св. 9	–327,1	за даними ГДС у св. 9	–322,7	св. 9
Блок св. 6	–300,0	за даними ГДС у св. 6	–296,8	св. 6
Блок св. 10	-		–307,9	св. 10***
ВД-14				
Блок св. 1, 4	–401,8	за даними ГДС у св. 1	–398,2	св. 1
Блок св. 6	–311,8	за даними ГДС у св. 6	–309,1	св. 6
НД-1				
Блок св. 1, 4	–426,2	за даними ГДС у св. 4	–425,2	св. 4
НД-2				
Блок св. 1, 4	–447,2	за даними ГДС у св. 4	–444,6	св. 4

*УГВК прийнято за даними ГДС (по підшві останнього газонасиченого пласта) у свердловині;

**ГВК прийнято за інтервалами перфорації у свердловині;

***НГВП прийнято на абсолютній відмітці нижніх отворів перфорації у св. 10.

Рекомендовані форми таблиць до геолого-економічної оцінки запасів і ресурсів родовищ нафти і газу прописано в "Інструкції про зміст, оформлення та порядок

подання в ДКЗ України матеріалів геолого-економічної оцінки родовищ нафти і газу" (затверджена Наказом ДКЗ України № 120, від 18.10.1999) та представлені в Додатку 1,

табл. 15 та 16 (*Інструкція про зміст, 1999*). Проте в даній роботі результати виконаної геолого-економічної оцінки запасів газу родовища узагальнені та стисло наведені в табл. 3.

Також, слід зауважити, що на підраховані обсяги видобувних запасів складено та в установленому порядку затверджено проектний технологічний документ на дос-

лідно-промислому розробку родовища, яким передбачено продовження експлуатації чотирьох свердловин діючого фонду (№ 1, 4, 6 та 9), введення в експлуатацію св. 10 та буріння двох оціночно-експлуатаційних свердловин (у блоці св. 1, 4 та блоці св. 10). Рішення про початок інвестування буріння свердловин надрокористувачем уже реалізовується на практиці.

Таблиця 3

Зведена таблиця запасів газу родовища

Блок	Клас запасів	Запаси газу, млн м³	
		початкові видобувні	дреновані
ВД-13			
Св. 1, 4	111	15	14
	122	143	
Св. 9	111	24	22
Св. 6	111	2	2
Св. 10	122	18	
	332*	96	
ВД-14			
Св. 1, 4	332*	40	
Св. 6	332*	2	
НД-1			
Св. 1, 4	332*	206	
НД-2			
Св. 1, 4	332*	121	
Загалом по родовищу			
	111	41	
	122	161	
	332*	465	

* наведено початкові загальні запаси

Порівняння оцінених обсягів запасів: класифікація PRMS-SPE.

Зважаючи на вимоги PRMS-SPE щодо виділення категорій запасів, розподіл обсягів вуглеводнів відбувається таким чином (табл. 4).

Підрахунок запасів у межах виділених категорій, аналогічно з попереднім випадком, виконано об'ємним методом за даними, отриманими в результаті комплексної інтерпретації результатів промислово-геофізичних досліджень і за даними лабораторних досліджень проб пластових флюїдів, результати якого наведено в табл. 5.

Таблиця 4

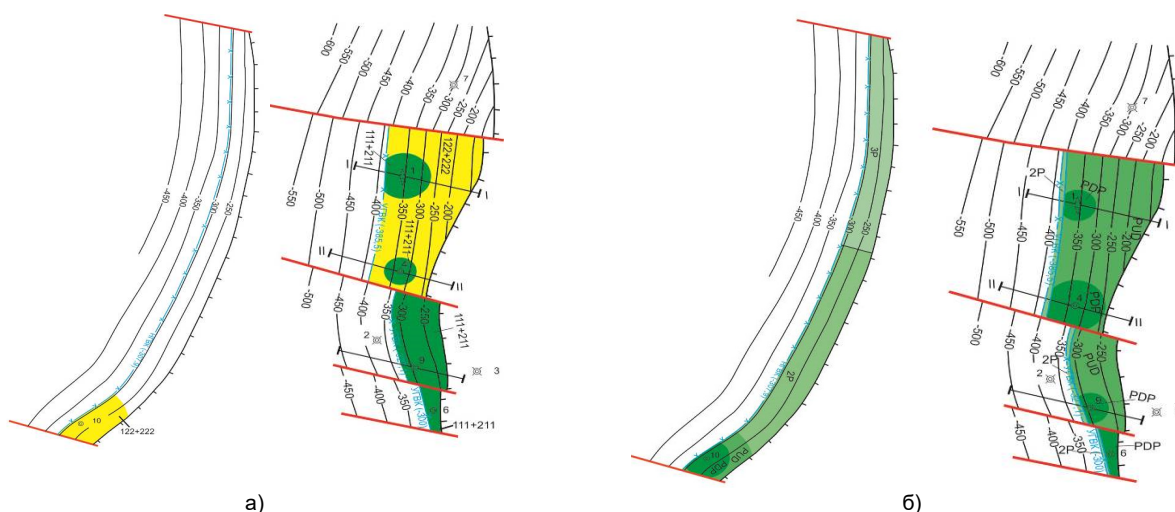
Обґрунтування категорій запасів (Petroleum Resources Management System)

Блок	Категорії запасів	Обґрунтування виділення
ВД-13 (рис. 3, б)		
1	Св. 1, 4 PDP виділено в зонах дронування св. 1 та 4, радіус яких прийнято 250 м; PUD – решта запасів блока в межах ГВК (абсолютна відмітка –382,8); P2 – у ділянці між ГВК та УГВК	– оконтурені бурінням та обмежені ГВК; – запаси, які будуть вилучені новими свердловинами; – прилеглі до нерозбурених ділянок з доведеними запасами (рис. 7)
2	Св. 9 PDP виділено в зоні дронування св. 9, радіус якої прийнято 250 м. PUD – решта запасів блока в межах ГВК (абсолютна відмітка –322,7); P2 – у ділянці між ГВК та УГВК	– оконтурені бурінням та обмежені ГВК; – запаси, які будуть вилучені новими свердловинами; – прилеглі до нерозбурених ділянок з доведеними запасами
3	Св. 6 PDP виділено в зоні дронування св. 6, радіус якої прийнято 250 м. PUD – решта запасів блока в межах ГВК (абсолютна відмітка –396,8); P2 – у ділянці між ГВК та УГВК	– оконтурені бурінням та обмежені ГВК; – запаси, які будуть вилучені новими свердловинами; – прилеглі до нерозбурених ділянок з доведеними запасами
4	Св. 10 PDP виділено в зоні дронування св. 10, радіус якої прийнято 250 м. PUD – запаси в межах радіуса свердловини 500 м; P2 – у межах умовної лінії (на середині покладу); P3 – решта запасів покладу від умовної лінії	– оконтурені бурінням та обмежені ГВК; – запаси, які будуть вилучені новими свердловинами; – прилеглі до нерозбурених ділянок з доведеними запасами; – прилеглі до ділянок з імовірними запасами
ВД-14 (рис. 4, б)		
5	Св. 1, 4 PDNP виділено в зонах дронування св. 1 та 4, радіус яких прийнято 250 м та обмежені ГВК P2 – решта запасів покладу в межах УГВК	– розкрито інтервали, які не працюють на дату оцінки, однак обґрунтована можливість їхньої промислової розробки; – прилеглі до нерозбурених ділянок з доведеними запасами
6	Св. 6 PDNP виділено в зоні дронування св. 6, радіус якої прийнято 250 м і обмежено ГВК; P2 – решта запасів покладу в межах УГВК	– розкрито інтервали, які не працюють на дату оцінки, однак обґрунтована можливість їхньої промислової розробки; – прилеглі до нерозбурених ділянок з доведеними запасами
НД-1 (рис. 5, б)		
7	Св. 1, 4 PDNP виділено в зоні дронування св. 1 та 4, радіус яких прийнято 250 м та обмежено ГВК; P2 – решта запасів покладу в межах УГВК	– розкрито інтервали, які не працюють на дату оцінки, однак обґрунтована можливість їхньої промислової розробки; – прилеглі до нерозбурених ділянок з доведеними запасами
НД-2 (рис. 6, б)		
8	Св. 1, 4 C1, C2, C3 у межах УГВК	– результати підрахунку не дозволяють зробити однозначний висновок щодо промислового значення їхньої подальшої розробки

Таблиця 5

Результати оцінки запасів газу за класифікацією PRMS			
Блок	Категорія	Початкові видобувні запаси газу, млн м ³	Примітка
ВД-13			
Св. 1, 4	PDP	15	
	PUD	120	
	P2	23	2P: (15 + 120 + 23) = 158
Св. 9	PDP	10	
	PUD	13	
	P2	1	2P: (10 + 13 + 1) = 24
Св. 6	PDP	2	
	P2	н/з	2P: (2 + н/з) = 2
Св. 10	PDP	8	
	PUD	10	
	P2	48	2P: (8 + 10 + 48) = 66
	P3	48	3P: (8 + 10 + 48 + 48) = 114
ВД-14			
Св. 1, 4	PDNP	18	
	P2	22	2P: (18+22)=40
Св. 6	PDNP	2	
	P2	н/з	2P: (2+н/з)=2
НД-1			
Св. 1, 4	PDNP	8	
	P2	198	2P: (8 + 198) = 206
НД-2			
Св. 1, 4	C1, C2, C3	121	
Загалом по родовищу			
PDP		35	1P: (35 + 28 + 143) = 206
PDNP		28	
PUD		143	
P2		292	2P: (35 + 28 + 143 + 292) = 498
P3		48	3P: (35 + 28 + 143 + 292 + 48) = 546
C1, C2, C3		121	

н/з – незначна кількість



а) б)
Рис. 3. Виділення категорій запасів продуктивного горизонту ВД-13
(структурна основа за даними В. С. Раделицького, 2016)

Порівнявши дані, наведені в табл. 3 та 5, дійшли до таких висновків:

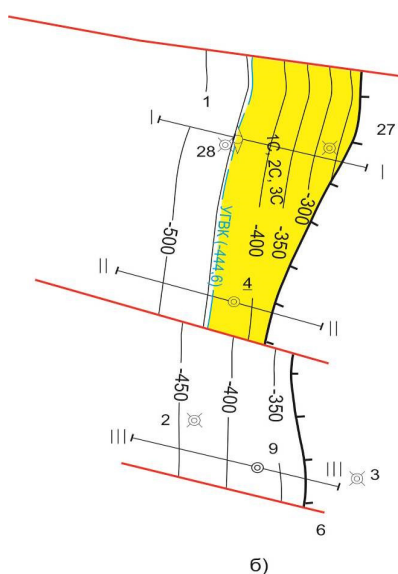
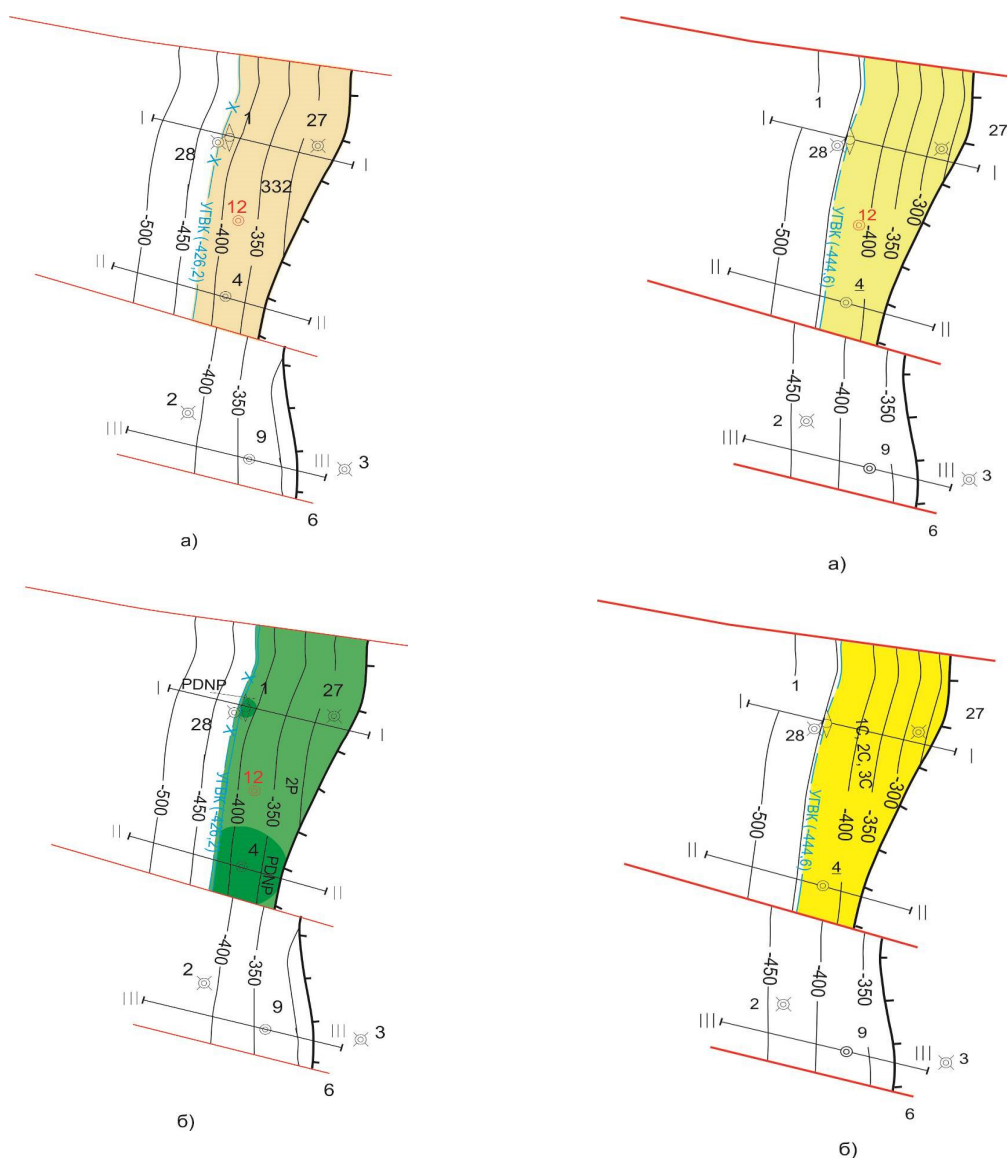
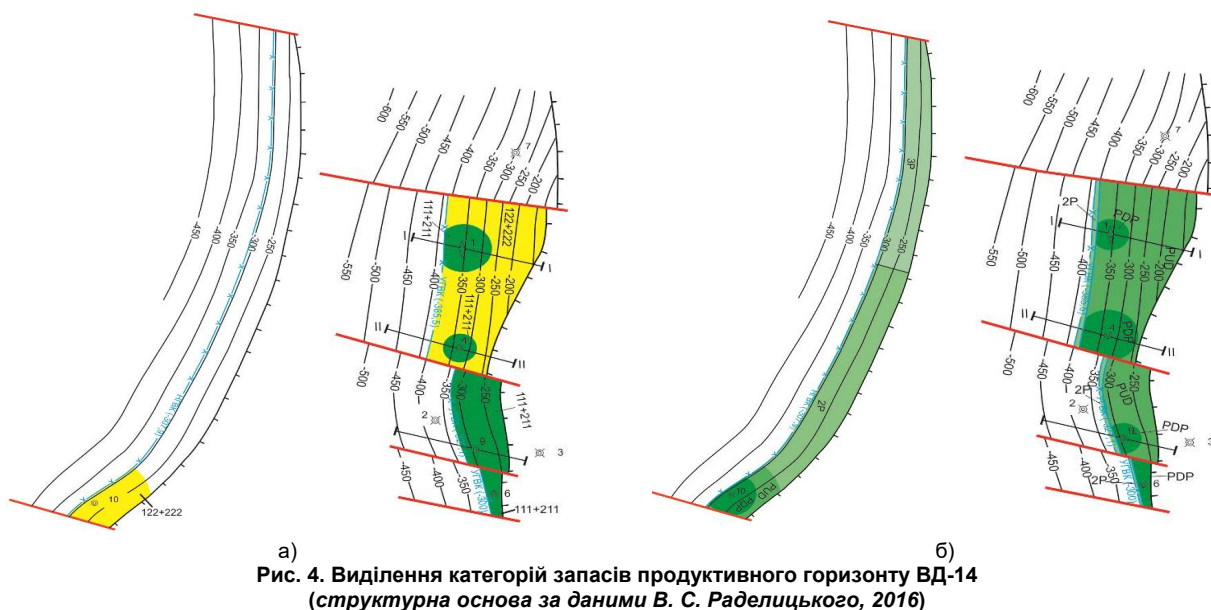
- запаси класу 111 (41 млн м³) менші на 6 млн м³ від PDP. Як у свою чергу зіставляються з дренуваними запасами, оціненими за методом падіння пластового тиску в зонах живлення пробурених і введених в експлуатацію свердловин (35 та 36 млн м³ відповідно);

- запаси класу 122 (161 млн м³) розподілились таким чином:

- до PUD віднесено 143 млн м³, які прилягають до PDP, їхнє промислове значення доведено і які планується вилучити проектними свердловинами;
- до 2P (24 млн м³), які містяться у міжконтурній зоні між ГВК і УГВК і будуть також вилучені проектними свердловинами;

- запаси класу 332 (465 млн м³) розподілились таким чином:

- до PDNP віднесено 28 млн м³, вони виділені в зонах дренування свердловин, при випробуванні яких отримали промислові припливи газу і є об'єктами повернення у свердловинах після вироблення ними запасів основного об'єкта;
- до 2P (268 млн м³) і 3P (48 млн м³) віднесено запаси покладів, які не вивчені бурінням і вони прилегли до ділянок з доведеними запасами. Їхнє переведення до вищих категорій можливе під час проведення на родовищі розвідувальних робіт і буріння проектних свердловин;
- до 1С, 2С, 3С (121 млн м³) – умовні ресурси, віднесені обсяги вуглеводнів, для яких однозначно не встановлено промислове значення їхньої подальшої розробки. Зазначені обсяги вивчатимуться у процесі розвідки родовища.



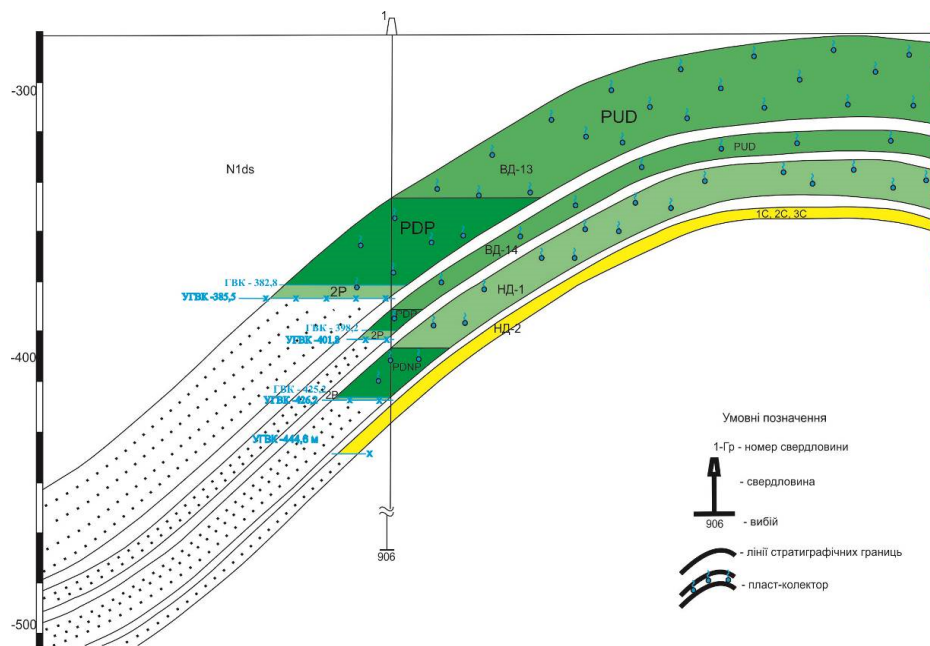


Рис. 7. Обґрунтування категорій запасів продуктивних горизонтів родовища (геологічний розріз за даними В. С. Раделицького, 2016)

Висновки за даним напрямом досліджень можна звести до такого:

1. Основні підходи до класифікації запасів/ресурсів нафти і газу за різними стандартами на загал тотожні: *промислове значення, стадія проектування розробки та геологічна вивченість* за PRMS-SPE, *промислове значення, ступінь техніко-економічного вивчення та ступінь геологічного вивчення* за національною класифікацією. Основні відмінності полягають у підходах до виділення категорій та встановлення меж, за якими проводиться підрахунок запасів, особливо що стосується доведених запасів. Звідси випливає те, що підраховані обсяги вуглеводнів між собою певною мірою зіставні в загальній величині, проте перерозподілені між собою за різними групами та категоріями. Відповідно до зазначеного звітність із запасів/ресурсів за цими двома стандартами кардинально різниться між собою.

2. Перехід нашої держави на оцінку запасів за стандартом PRMS-SPE загалом можливий, особливо, зважаючи на те, що галузь забезпечена достатньою кількістю фахівців, які, пройшовши відповідну підготовку та опанувавши методологію категоризації запасів, цілком зможуть реалізувати такі оцінки на практиці. З іншого боку, наскільки актуальним для України є впровадження на державному рівні для проведення аудиту запасів нафти і газу стандарту PRMS-SPE, що потребуватиме певних змін у нормативно-правовій базі та значних матеріальних витрат, зважаючи на обсяги запасів нафти і газу, особливо доведених. Тому у випадку приваблення іноземних інвесторів або для виконання їхніх вимог цілком реально виконувати такі оцінки на конкретних ділянках або об'єктах.

Список використаних джерел

Інструкція із застосування Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр до геолого-економічного вивчення ресурсів перспективних ділянок та запасів родовищ нафти і газу. (1998). Отримано 20 січня 2018, із <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0475-98>

Інструкція про зміст, оформлення та порядок подання в ДКЗ України матеріалів геолого-економічної оцінки родовищ нафти і газу. (1999). Отримано 20 січня 2018, із <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0853-99>

Класифікація запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр. (1997). Отримано 20 січня 2018, із <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/432-97-п>

Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування. (2014). *Матеріали Першого науково-практичного семінару, 10–14 листопада, Трускавець, Україна*, 390.

Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування. (2015). *Матеріали Другої міжнародної науково-практичної конференції, 5–8 жовтня, Трускавець, Україна*, 466.

Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування. (2016). *Матеріали Третьої міжнародної науково-практичної конференції, 4–7 жовтня, Трускавець, Україна*, 454.

Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування. (2017). *Матеріали Четвертої міжнародної науково-практичної конференції, 6–10 листопада, Трускавець, Україна*, 303.

Рамочная классификация Организации Объединенных Наций ископаемых энергетических и минеральных запасов и ресурсов. (2010). Отримано 20 січня 2018, із http://www.unec.org/fileadmin/DAM/energy/se/pdfs/UNFC/unfc2009/unfc2009_report_r.pdf

Petroleum Resources Management System. (2007). Отримано 20 січня 2018, із https://www.spe.org/industry/docs/Russian_PRMS_2007.pdf

Reference

Instruction about maintenance, registration and order of presentation in SSC of Ukraine of the materials of geological-economical oil and gas deposits estimation. (1999). Retrieved January 20, 2018, from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0853-99>. [in Ukrainian]

Instructions of Minerals supplies and resources classifications of the earth crust state fund using to the geological-economical study of perspective area resources and oil and gas deposits supplies. (1998). Retrieved January 20, 2018, from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0475-98>. [in Ukrainian]

Minerals supplies and resources classifications of the earth crust state fund. (1997). Retrieved January 20, 2018, from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/432-97-п>. [in Ukrainian]

Petroleum Resources Management System. (2007). Retrieved January 20, 2018, from https://www.spe.org/industry/docs/Russian_PRMS_2007.pdf

Subsoil using in Ukraine. Prospects of investing. (2014). *Materials of the First scientific-practical seminar, November, 10–14, Truskavets, Ukraine*, 390. [in Ukrainian]

Subsoil using in Ukraine. Prospects of investing. (2015). *Materials of the Second international scientific-practical conference, October, 5–8, Truskavets, Ukraine*, 466. [in Ukrainian]

Subsoil using in Ukraine. Prospects of investing. (2016). *Materials of the Third international scientific-practical conference, October, 4–7, Truskavets, Ukraine*, 363. [in Ukrainian]

Subsoil using in Ukraine. Prospects of investing. (2017). *Materials of the Fourth international scientific-practical conference, November, 6–10, Truskavets, Ukraine*, 303. [in Ukrainian]

United Nations Framework Classification of fossil power and mineral supplies and resources. (2010). Retrieved January 20, 2018, from http://www.unec.org/fileadmin/DAM/energy/se/pdfs/UNFC/unfc2009/unfc2009_report_r.pdf. [in Russian]

Надійшла до редколегії 24.06.18

G. Rudko, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Dr. Sci. (Geogr.), Dr. Sci. (Tech.), Prof., Head
E-mail:office@dkz.gov.ua
State Commission of Ukraine on Mineral Resources
Kutuzova street, 18/7, office 816, Kyiv, 01133, Ukraine
ORCID-0000-0001-7752-4310;
I. Mykhailiv, PhD (Geol.), Assoc. Prof., Head of the Department of Economic Geology
E-mail:iramykhailiv@ukr.net
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas
15. Carpathian Str., Ivano-Frankivsk, 76019, Ukraine
ORCID-0000-0003-4363-9974

STANDARD OF PRMS-SPE: METHODOICAL ASPECTS, RESULTING ACCOUNTING AND POSSIBILITY OF APPLICATION TO GEE OF OIL AND GAS SUPPLIES IN UKRAINE

The article gives detailed description of PRMS-SPE, as one of the leading international systems for the evaluation of hydrocarbons supplies and resources. Their category and classes are distinguished by the degree of beds studying, expected economic effects from their exploitation and state of present wells. The calculation of gas deposit supplies after the criteria of PRMS – SPE was carried out. The comparison of the results that was conducted with the requirements of minerals supplies and resources Classification of the earth crust state fund was made. This Classification defined methodical principles of calculation, recording, and control of minerals inventories in Ukraine. The calculated volumes of hydrocarbons in the certain measure comparable in general size, however, are redistributed in different groups and categories. Reporting on supplies/resources of these two standards cardinaly differs, that is determined by differences in approach to the selection of categories and establishment of borders under which the calculation of supplies is conducted.

Keywords: calculation of reserves, classification, subsoil use, economic efficiency.

Г. Рудько, д-р геол.-минералог. наук, д-р геогр. наук, д-р техн. наук, проф.
E-mail:office@dkz.gov.ua
Государственная комиссия Украины по запасам полезных ископаемых
ул. Кутузова, 18/7, оф. 816, г. Киев, 01133, Украина
ORCID-0000-0001-7752-4310
И. Михайлив, канд. геол. наук, доц.
E-mail:iramykhailiv@ukr.net
Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа
ул. Карпатская, 15, г. Ивано-Франковск, 76019, Украина
ORCID-0000-0003-4363-9974

СТАНДАРТ PRMS-SPE: МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ, РЕЗУЛЬТИРУЮЩАЯ ОТЧЕТНОСТЬ И ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ К ГЕО ЗАПАСАМ НЕФТИ И ГАЗА В УКРАИНЕ

Приведена подробная характеристика PRMS-SPE как одной из ведущих международных систем по оценке запасов и ресурсов углеводородов, согласно которой их категории и классы выделяются по степени изученности залежей (достоверности), ожидаемым экономическим эффектам от их освоения и состояния имеющихся скважин. Выполнен подсчет запасов углеводородов газового месторождения по критериям PRMS-SPE и проведено сопоставление полученных результатов с требованиями Классификации запасов и ресурсов полезных ископаемых государственного фонда недр, которой определены единые методические принципы подсчета, учета, контроля и управления запасами полезных ископаемых в Украине. Установлено, что подсчитанные объемы углеводородов между собой в определенной степени сопоставимы в общей величине, однако перераспределены между собой по разным группам и категориям. Отчетность по запасам/ресурсам по этим двум стандартам кардинально отличается между собой, что определяется различиями в подходах к выделению категорий и установлению границ, по которым проводится подсчет запасов.

Ключевые слова: подсчет запасов, классификация, недропользование, экономическая эффективность.

ГЕОЛОГІЧНА ІНФОРМАТИКА

UDC 553.982

M. Lubkov, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Senior Researcher
E-mail: Mikhail.lubkov@ukr.net, tel.: 0955395389
Poltava Gravimetric Observatory of NASU

ESTIMATION OF FILLING PROCESSES IN THE GAS CAP OF GEOSOLITON FIELD

(Представлено членами редакційної колегії д-ом фіз.-мат. наук, старш. наук. співроб. І. М. Корчагіним та д-ом фіз.-мат. наук, проф. Б. П. Масловим)

Recently the efficiency of oil-gas deposits exploration has been closely connected with understanding of processes forming of such deposits. In forming, transferring and accumulation processes of hydrocarbons, the important role has mechanism of its vertical migrations. Among models in which such mechanisms were presented, geosoliton conception is well-known enough. Geosoliton conception is in well agreement with many of geologic and cosmogonic ideas. It unites principals of biogenic and abiogenic hypothesis of hydrocarbons forming, which come from mantle in composition of hot high-pressure fluids. The fluids come through the crack-pour faults in the central channel part of geosoliton. The abnormal high pressure of accumulated gases in the central part of geosoliton leads to their penetration in collector reservoirs. At that place deposit geosoliton system is forming. It consists of the gas caps, oil collars and reservoir water in the periphery.

Purpose. Estimation of filling processes in the gas cap of geosoliton field.

Methodology. To resolve the nonstationary piezoconductivity problem we use combined computer method consisting of variation finite element method and method of finite differences.

Findings. As a result of the research, filling process of the gas cap essentially depends on filtration parameters of considering porous reservoir, its size and characteristic fishes of the filling origins. Filling gas cap velocity mainly determined by origins power and less depends on their sizes and quantity. In the subsequent stages of filling, the pressure gradually aligns in all reservoir places and then regularly increases.

Originality. Presented method has some advantages in comparison with other similar methods. It enables calculating different reservoir filtration parameters and using manifold boundary conditions.

Practical value. The obtained results allow making gas production process in gas-condensate reservoirs more effectively.

Keywords: computer modeling, geosoliton field, gas reservoir filling process.

Introduction. In our days, the efficiency of oil-gas deposits exploration is closely connected with realizing of processes forming of such deposits. In forming, transferring and accumulation processes of hydrocarbons, the important role has mechanism of its vertical migrations. Among models in which such mechanisms are presented, geosoliton conception (fig. 1) is famous enough (Megerya, 2009; Megerya, 2011; Megerya et al., 2012).

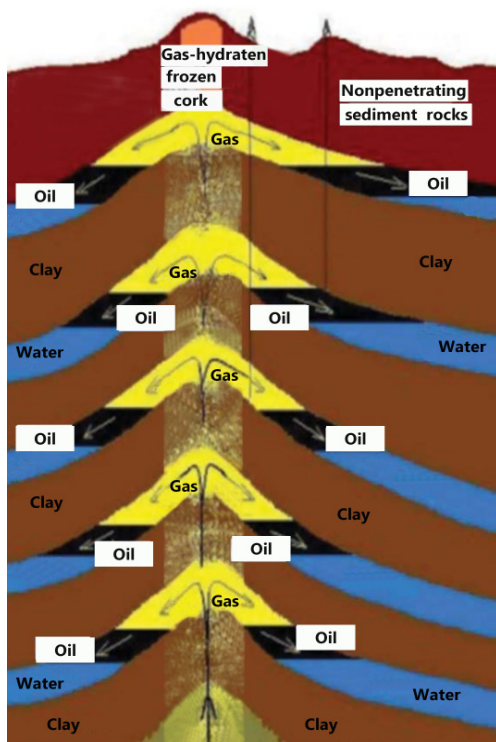


Fig. 1. Typical geosoliton structure

Geosoliton conception is in well agreement with many of geologic and cosmogonic ideas. It unites principals of biogenic and abiogenic hypothesis of hydrocarbons forming,

which come from mantle in composition of hot high-pressure fluids. On the other hand, under influence of hot fluids transformation of organic substance of sedimentary rocks into hydrocarbons is going out. The central vertical fault geosoliton pipe is the main element of energy mass transferring processes. It forms positive geostructure for pumping out oil-gas phase in its axing part. The abnormal high pressure of accumulated fluids and gases in the central axing part of geosoliton pipe leads to their penetration in collector reservoirs. At that place geosoliton deposit system is forming. It consists of the gas caps, oil collars and reservoir water in the periphery.

It is interesting to investigate the filling processes of the gas cap of geosoliton field. It is actual problem which can give lots of important practical results. Such information can be useful for revealing the real structure of the gas cap of geosoliton field and respectively to localize more accurately the places of gas-condensate deposits concentration. Further, we consider modeling of the filling processes of the gas cap of geosoliton on the base of Lebonson piezoconductivity equation, describing gas pressure distribution in this place (Aziz and Settary, 2004; Basniev et al., 2003; Lubkov, 2017). To resolve the nonstationary piezoconductivity problem we use combined computer method consisting of variation finite element method and method of finite differences (Lubkov, 2017). Presented method has some advantages in comparison with other similar methods, because it enables calculating of heterogeneous reservoir filtration parameters, different fluid-gas origins and complicated border conditions. Furthermore, it has high precision and can be easily adapted for different practical cases.

Mathematical formulation and solving problem. We suggest that horizontal sizes of investigating area of the porous gas accommodating layer are considerably larger than average effective thickness of the layer. At that case, we can use the ordinary formulation of the plane nonstationary piezoconductivity Lebonson problem in rectangular axes (X, Y) as:

$$\frac{\partial P^2}{\partial t} = \chi \left(\frac{\partial^2 P^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P^2}{\partial y^2} \right) + \gamma; \quad (1)$$

$$P(t=0) = P_0; \quad (2)$$

$$k^2 \text{grad} P^2 = \alpha^2 (P^2 - P_b^2). \quad (3)$$

Here (1) – nonstationary piezoconductivity Lebenson equation; (2) – initial condition; (3) – condition of the gas overflow in the reservoir borders; $P(x,y,t)$ – pressure, as function of coordinates and time; $\chi = kP_0 / m\eta$ – coefficient of piezoconductivity; k – coefficient of permeability; η – dynamic viscosity; m – porosity environment coefficient; P_0 – initial pressure of the porous layer; P_b – pressure in the

border of investigating area; α – coefficient of the gas penetration in the border of reservoir; γ – integration parameter of geosoliton gas origin.

For resolving nonstationary piezoconductivity Lebenson problem, we use variation finite element method, which leads to the solving of variation piezoconductivity equation:

$$\delta I(P) = 0. \quad (4)$$

Here $I(P)$ – functional of piezoconductivity Lebenson problem (1) – (3), which after substitution $\tilde{P} = P^2$ can be presented as (Lubkov, 2017):

$$I(\tilde{P}) = \frac{1}{2} \iint_S \left\{ k^2 \left[\left(\frac{\partial \tilde{P}}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \tilde{P}}{\partial y} \right)^2 \right] + 2 \int_{P_0}^{\tilde{P}} \frac{k}{\chi} \frac{\partial \tilde{P}}{\partial t} d\tilde{P} - 2\chi \tilde{P} \right\} dx dy - \frac{1}{2} \int_L \alpha^2 (\tilde{P} - 2\tilde{P}_b) \tilde{P} dl; \quad (5)$$

here S – the square of investigating area; L – contour, which surrounds the square S , dl – element of the contour.

For resolving variation equation (4) we use eight-nodal isoparametric quadrangular finite element (Obraczow *et al.*, 1985). As global coordinate system, where we unit all finite elements of investigating area S , rectangular system (X, Y) is used. As local coordinate system, where in limits of

every finite element we define approximation functions φ_i and make numerical integration, normalizing coordinate system (ξ, η) is used. In that system coordinates, pressure, initial pressure, pressure in the border of investigating area, coefficient of gas overflow in the reservoir border and derivatives of pressure on coordinates approximated in such way:

$$x = \sum_{i=1}^8 x_i \varphi_i; y = \sum_{i=1}^8 y_i \varphi_i; \tilde{P} = \sum_{i=1}^8 P_i \varphi_i; \tilde{P}_0 = \sum_{i=1}^8 P_{0i} \varphi_i; \tilde{P}_b = \sum_{i=1}^8 P_{bi} \varphi_i; \alpha^2 = \sum_{i=1}^8 \alpha_i \varphi_i;$$

$$\frac{\partial \tilde{P}}{\partial x} = \sum_{i=1}^8 P_i \Psi_i; \frac{\partial \tilde{P}}{\partial y} = \sum_{i=1}^8 P_i \Phi_i; \Psi_i = \frac{1}{|J|} \left(\frac{\partial \varphi_i}{\partial \eta} \frac{\partial y}{\partial \xi} - \frac{\partial \varphi_i}{\partial \xi} \frac{\partial y}{\partial \eta} \right); \Phi_i = \frac{1}{|J|} \left(\frac{\partial \varphi_i}{\partial \xi} \frac{\partial x}{\partial \eta} - \frac{\partial \varphi_i}{\partial \eta} \frac{\partial x}{\partial \xi} \right); \quad (6)$$

where $J = \frac{\partial y}{\partial \xi} \frac{\partial x}{\partial \eta} - \frac{\partial y}{\partial \eta} \frac{\partial x}{\partial \xi}$ – Jacobian matrix between systems (x, y) and (ξ, η) .

Following to variation equation (4) and suggesting, that nodal meanings from derivatives of pressure on time $\frac{dP_i}{dt}$ known values and cannot be varied, we get system of differential equations for k – nodal of p – finite element in such view:

$$\frac{\partial I_p}{\partial P_k} = \sum_{i=1}^8 \left\{ H_{ki}^p \frac{dP_i}{dt} + (A_{ki}^p + Q_{ki}^p) P_i - Q_{ki}^p P_0^i \right\} = 0;$$

$$H_{ij}^p = \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \frac{k^p}{\chi^p} \varphi_i \varphi_j |J| d\xi d\eta; A_{ij}^p = \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 k^p (\Psi_i \Psi_j + \Phi_i \Phi_j) |J| d\xi d\eta; Q_{ij}^p = \int_L \alpha \varphi_i \varphi_j dl. \quad (7)$$

For resolving the system of linear differential equations of the first order (7) at initial conditions (6) we use method of finite differences. At that, approximation of derivative in time we can realize on the base of implicit differential scheme:

$$\frac{d\tilde{P}}{dt} = \frac{\tilde{P}(t + \Delta t) - \tilde{P}(t)}{\Delta t}. \quad (8)$$

Putting expression (8) into the system (7), we obtain the next system of linear algebraic equations:

$$\sum_{i=1}^8 \left\{ \left(\frac{1}{\Delta t} H_{ki}^p + A_{ki}^p + Q_{ki}^p \right) P_i(t + \Delta t) - \frac{1}{\Delta t} H_{ki}^p P_i(t) - Q_{ki}^p P_0^i \right\} = 0 \quad (k = 1 - 8). \quad (9)$$

After summing equations (9) at all finite elements, we obtain the global system of linear algebraic equations, which allows defining unknown meanings of pressure at the moment of time $t + \Delta t$ via their meanings at previous moment t . Further, we resolve the global system equations on the base of Gauss numerical method (Obraczow *et al.*, 1985). Due to the system solving, we can define pressure at all nodes of the finite element net. Therefore, we can determine reservoir pressure in any points of investigating porous reservoir.

Modeling of filling processes of the gas cap of geosoliton fields. In modeling, we consider the area of geosoliton gas cap with sizes $6 \times 4 \text{ km}^2$. We choose some characteristic parameters of the gas porous medium: $k = 0,12 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2$; $\eta = 0,18 \cdot 10^{-4} \text{ Pa} \cdot \text{s}$; $m = 0,15$; $P_0 = 1 \text{ MPa}$, at

that case coefficient of piezoconductivity $\gamma\chi = 0,45 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. We suggest not penetrating processes in the boundaries of gas cap reservoir $\alpha = 0$. Firstly, we consider the case of filling of the gas cap in geosoliton by one origin with the size of 1 km^2 and the power of $1,7 \text{ atm/m}^2 \text{ day}$. In the fig. 2, a-d – we can see the process of filling of the gas cap of geosoliton.

Further, we consider the process of filling of gas cap of geosoliton with different number of the same origins with the sizes of 1 km^2 and the power of $1,7 \text{ atm/m}^2 \text{ day}$, over one month (fig. 3).

Then, we consider the process of filling of gas cap of geosoliton by origin with the size of 1 km^2 and the power of $1,7 \text{ atm/m}^2$ per a day and distinctive power one, over one month (fig. 4).

Conclusions. The elaborated combined finite element – difference method allows resolving nonstationary piezoconductivity Lebenson problem with predetermined border conditions and origins into heterogeneous porous fields. On the base of obtained method, we carried out computer modeling of the filling process of gas cap of geosoliton field. According to obtained data analysis, filling process of the gas cap essentially depends on filtration parameters of considering porous reservoir, its size and characteristic features of the filling origins. Filling gas cap velocity is mainly determined by origins power and less depends on their sizes and quantity. At the case of equal power origins, the filling gas cap velocity is proportional to the power of these origins. In case, when different power

origins act, the filling gas cap process passes irregularly. At the initial stages of filling process, excess pressure reservoir places closely correlate with the origins installation. As the gas cap origins of geosoliton mainly formed by its central vertical channels, so the places of increasing pressure in a greater degree are forming in central part of the field. In the subsequent stages of filling process, the pressure gradually

aligns in all reservoir places and then regularly increases. As calculations show, regular filling of the whole gas cap region comes approximately over one hundred years since beginning of the process.

One can use obtained results for exploration and affective productivity in the gas-condensate fields.

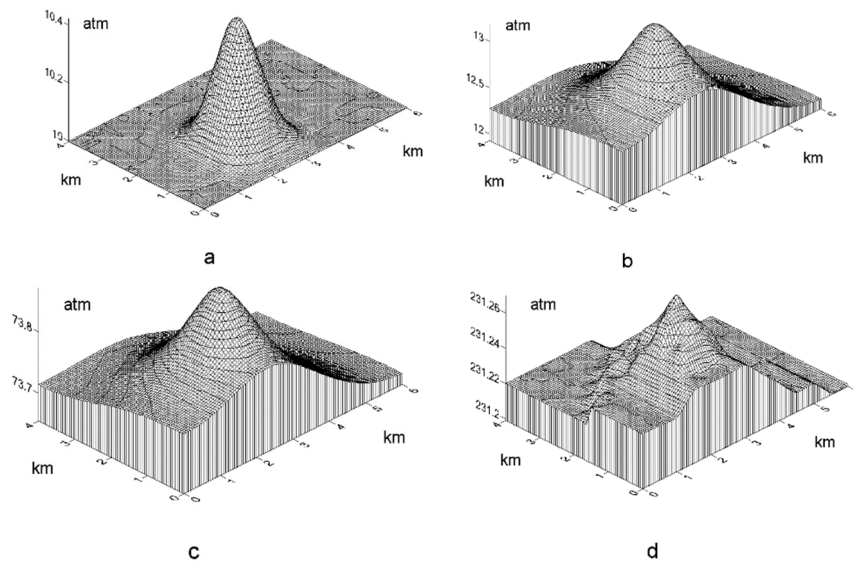


Fig. 2. The pressure distributions in gas cap of the geosoliton with one origin, over:
(a) one month; (b) one year; (c) 1000 years; (d) 10000 years

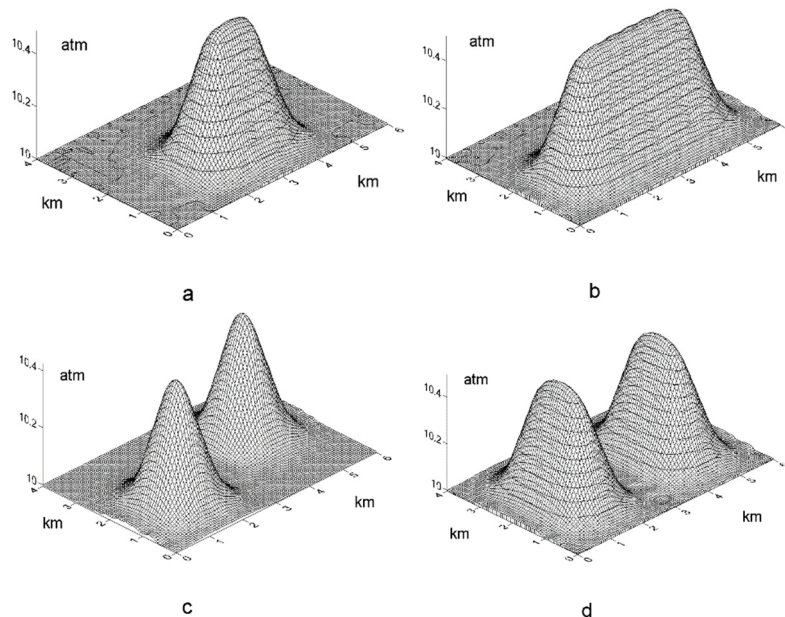


Fig. 3. The pressure distributions in gas cap of the geosoliton with different number of the same power origins over one month:
(a) two close origins; (b) four close origins; (c) two single origins; (d) two double origins

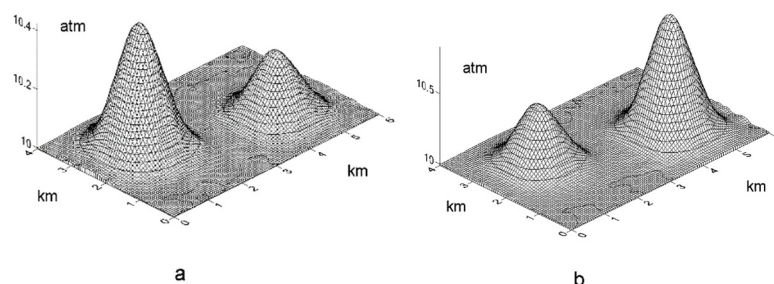


Fig. 4. The pressure distributions in gas cap of the geosoliton with two single origins by different power over one month:
(a) the mentioned and twice smaller power; (b) the mentioned and twice larger power

Список використаних джерел

- Азиз, Х., Сеттари, Э. (2004). Математическое моделирование пластовых систем. Москва: Ин-т компьютер. исслед.
- Басниев, К. С., Дмитриев, Н. М., Розенберг, Г. Д. (2003). Нефтегазовая гидромеханика: учебное пособие для вузов. Москва: Ин-т компьютер. исслед.
- Лубков, М. В. (2017). Моделивання процесів фільтрації на межах газоконденсатних родовищ. *Збірник наукових праць X-Міжнародної науково-практичної конференції "Проблеми й перспективи розвитку академічної та університетської науки"*. Полтава, 167-173.
- Меґеря, В. М. (2009). Поиск и разведка залежей углеводородов, контролируемых геосолитонной дегазацией. Москва: Локус Станди.
- Меґеря, В. М. (2011). Поиск и разведка месторождений УВ, контролируемых геосолитонной дегазацией Земли на базе сейсмовидени. *Геофизика*, 1, 67-74.
- Меґеря, В. М., Филатов, В. Г., Старостенко, В. И., Корчагин, И. Н., Лобанов, А. М., Гласко, Ю. В., Волоцков, М. Ю., Скачков, С. А. (2012). Геосолитонная концепция образования углеводородов и возможности и перспективы применения несейсмических методов для поисков их скоплений. *Геофизический журнал*, 3(36), 4 – 21.
- Образцов, И. Ф., Савельев, Л. М., Хазанов, Х. С. (1985). Метод конечных элементов в задачах строительной механики летательных аппаратов. Москва: Высшая школа.

References

- Aziz, X., Settari, E. (2004). Mathematical modeling of reservoir systems. Moscow: In-t of computer investigations.
- Basniev K. S., Dmitriev N. M., Rozenberg G. D. (2003) Oil-gas gidromechanics: study allowance for high school. Moscow: In-t of computer investigations. [in Russian]
- Lubkov, M. V. (2017). Modeling of filtration properties in the boundaries of gas-condensate fields. *Scientific proceedings of X-International scientific-practical conference "Problems and perspectives of development of academic and university science"*-Poltava, 167-173. [In Ukrainian]
- Megerya, V. M. (2009). Research and exploration of hydrocarbon deposits controlled by geosoliton degassing processes. Moscow: Locus Standby. [in Russian]
- Megerya, V. M. (2011). Research and exploration of hydrocarbon deposits controlled by geosoliton degassing of the earth on the base of seismoview. *Geophysics*, 1, 67-74. [in Russian]
- Megerya, V. M., Filatov, V. G., Starostenko, V. I., Korchagin, I. N., Lobanov, A. M., Glasko, J. V., Volotskov, M. J., Skachkov, S. A. (2012). Geosoliton conception of hydrocarbons forming and perspectives of no seismic methods application for its accumulation places searching. *Geophysical Journal*, 3(36), 4-21. [in Russian]
- Obrazcov, I. F., Savel'ev, L. M., Hazanov, H. S. (1985). Finite element method of building mechanics and mechanics of flying apparatuses. Moscow: High School. [in Russian]

Надійшла до редколегії 19.10.18

М. Лубков, д-р фіз.-мат. наук, старш. наук. співроб.
E-mail: Mikhail.lubkov@ukr.net, тел.: 0955395389
Полтавська гравіметрична обсерваторія НАНУ
вул. Мясоедова, 27/29, м. Полтава, 36014, Україна

ОЦІНКА ПРОЦЕСУ ЗАПОВНЕННЯ ГАЗОВОГО КОВПАКА ГЕОСОЛІТОННОГО РОДОВИЩА

Останнім часом ефективність розвідки нафтогазових родовищ тісно пов'язана з розумінням процесів утворення таких родовищ. При формуванні, перенесенні та накопиченні вуглеводнів важливу роль має механізм їхніх вертикальних міграцій. Серед моделей, в яких представлено такі механізми, геосолітонна концепція є досить відомою. Геосолітонна концепція добре узгоджується з багатьма геологічними і космогонічними ідеями. Вона об'єднує принципи біогенної та абіогенної гіпотез утворення вуглеводнів, які надходять з мантії у складі гарячих флюїдів високого тиску. Флюїди проходять через щільні розломи в центральній частині каналу геосолітона. Аномально високий тиск накопичених газів у центральній частині геосолітона призводить до їхнього проникнення в колекторські резервуари. У цьому місці формується геосолітонна система вуглеводневих покладів. Вона складається з газових ковпаків, нафтових рукавів і води на периферії.

Мета. Оцінка процесів заповнення в газовому ковпаку геосолітонного родовища.

Методологія. Для вирішення нестационарної задачі п'єзопроводності використовується комбінований комп'ютерний метод, що складається з варіаційного методу скінченних елементів і методу скінченних різниць.

Висновки. Результати досліджень показують, що процес заповнення газового ковпака істотно залежить від параметрів фільтрації розглянутого пористого резервуара, його розміру і характерних властивостей джерел заповнення. Швидкість заповнення газового ковпака в основному визначається потужністю джерел і менше залежить від їхніх розмірів і кількості. На наступних етапах заповнення тиск поступово вирівнюється в усіх місцях колектора, а потім регулярно збільшується.

Оригінальність. Представлений метод має деякі переваги порівняно з іншими аналогічними методами, він дозволяє враховувати різні параметри фільтрації колектора і задавати різноманітні граничні умови.

Практична цінність. Отримані результати дозволяють ефективніше проводити процес видобутку газу в газоконденсатних пластах.

Ключові слова: комп'ютерне моделювання, геосолітонне родовище, процес заповнення пласта газом.

М. Лубков, д-р фіз.-мат. наук, ст. науч. сотр.
E-mail: Mikhail.lubkov@ukr.net, тел.: 0955395389
Полтавская гравиметрическая обсерватория НАНУ
ул. Мясоедова, 27/29, г. Полтава, 36014, Украина

ОЦЕНКА ПРОЦЕССА НАПОЛНЕНИЯ ГАЗОВОГО КОЛПАКА ГЕОСОЛИТОННОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В последнее время эффективность разведки нефтегазовых месторождений тесно связана с пониманием процессов образования таких месторождений. При формировании, переносе и накоплении углеводородов важную роль имеет механизм их вертикальных миграций. Среди моделей, в которых представлены такие механизмы, геосолитонная концепция достаточно известна. Геосолитонная концепция хорошо согласуется со многими геологическими и космогоническими идеями. Она объединяет принципы биогенной и абиогенной гипотез образования углеводородов, которые поступают из мантии в составе горячих флюидов под высоким давлением. Флюиды проходят через щелевые разломы в центральной части канала геосолитона. Аномально высокое давление накопленных газов в центральной части геосолитона приводит к их проникновению в коллекторские резервуары. В этом месте формируется геосолитонная система углеводородных залежей. Она состоит из газовых колпаков, нефтяных рукавов и воды на периферии.

Цель. Оценка процессов заполнения в газовом колпаке геосолитонного месторождения.

Методология. Для решения нестационарной задачи пьезопроводности используется комбинированный компьютерный метод, состоящий из вариационного метода конечных элементов и метода конечных разностей.

Выводы. Результаты исследований показывают, что процесс заполнения газового колпака существенно зависит от параметров фильтрации рассматриваемого пористого резервуара, его размера и характерных свойств источников наполнения. Скорость наполнения газового колпака в основном определяется мощностью источников и в меньшей степени зависит от их размеров и количества. На последующих этапах наполнения давление постепенно выравнивается по всей области колектора, а затем регулярно увеличивается.

Оригинальность. Представленный метод имеет ряд преимуществ по сравнению с другими аналогичными методами, он позволяет учитывать различные параметры фильтрации колектора и задавать разнообразные граничные условия.

Практическая ценность. Полученные результаты способствуют более эффективному процессу добычи газа в газоконденсатных пластах.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, геосолитонное месторождение, процесс наполнения пласта газом.

УДК 504.57

V. Zatserkovnyi, Dr. Sci. (Tech.)

E-mail: vitallii.zatsekovnyi@gmail.com;

L. Plichko, PhD student

E-mail: PlichkoL@ukr.net

Taras Shevchenko National University of Kyiv

Institute of Geology, 90, Vasilkivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine;

M. Bohoslavskyy, PhD student

E-mail: mbogoslavskyy@gmail.com

National Aviation University

1 Komarova Ave., Kyiv, 03058, Ukraine

ANALYSIS OF THE APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF THE MATHEMATICAL MODEL FOR THE MONITORING OF NATURAL AND ANTHROPOGENIC SYSTEMS ON THE BASIS OF DETERMINATION OF GRADUAL FAILURES PROBABILITY

(Представлено членом редакційної колегії д-ом геол. наук, проф. О. М. Іванік)

The approaches for creating a mathematical model for monitoring natural and technogenic systems (PTS) and emergency situations (ES) based on the probability of gradual failures are outlined.

The monitoring of the NAS and ES provides for comprehensive monitoring of changes in the natural and anthropogenic environment and its components. The complexity of this process is determined mainly by the complexity of the diagnostics of the monitoring objects and the precise measurement of a large number of indicators that determine the conditions and factors of the state of the NAS, environmental pollution, etc.

The practical solution of this problem is possible on the basis of the use of modern mathematical and geo-information methods of modeling that provide a comprehensive reflection of heterogeneous and multi-linked processes of formation and development of emergency situations of different origins, which can not be achieved with the use of traditional technologies.

To describe the functioning of monitoring systems, it is worth building a mathematical model of the research object. The most complete state of the object of the study is characterized by its mathematical functional and statistical model. However, a more complete description of the static and dynamic state of the monitoring object is a probabilistic description of the state of objects with the help of distribution laws of the probabilities of the parameters of the input influences elements, output parameters and vector-operators. Since the probabilities of sudden bounces are determined by known formulas of the reliability theory, the main attention is drawn to the determination of the probability of the gradual failures occurrence. It is established that three mathematical models may be applied to determine the probability of gradual failures (a mathematical model based on the integration of differential equations; a mathematical model based on the Monte Carlo method; a mathematical model based on the quasilinear disturbances method). The results show, that the proposed method of research may use to simulate various scenarios of flooding in the territories of the Chernihiv region.

Keywords: natural anthropogenic systems, emergency situations, models, geo-information systems, geo-information technologies.

Introduction. The complexification of modern technical systems, the growth of anthropogenic risks arising from environmental pollution, requires not only the increased safety of such systems, which is achieved, in particular, by the use of advanced control and diagnostics tools, but also in case of the effective monitoring system availability.

Monitoring of natural and anthropogenic systems (NAS) and emergency situations (ES) provides for comprehensive monitoring of changes in the natural and anthropogenic environment and its components. The complexity of this process is determined mainly by the complexity of the diagnostics of the monitoring objects and the precise measurement of a large number of indicators that determine the conditions and factors of the NAS state, manifestations of the movements of the geological environment, environmental pollution, etc.

Analysis of recent research and publications.

Fundamentals of a comprehensive methodological approach to assessing the level of ecological safety of NAS and their monitoring are presented in the study of national scientists G. V. Lysychenko (Lysychenko et al., 2008), M. S. Malyovany (Kharlamova et al., 2012) and others, and of foreign authors A. M. Dies (Dies, 2015), M. N. Ordoueia (Ordoueia et al., 2015), V. Costantini (Costantini et al., 2012) and others.

Methodical provision of risk analysis were widely covered in the works of such scientists as A. B. Kaczynski (Kachinsky et al., 2013), Y. O. Yakovleva (Bychenok et al., 2009), H. O. Statyuhy (Statyukhy and Boyko, 2013) and in the studies of foreign authors – D. W. Connell (Cao et al., 2013), M. H. Whittaker (Whittaker, 2015) and others. However, the issue of the introduction of GIS and GIT in the task of monitoring of NA and ES, the development of reference models of their state, modeling scenarios for their development are considered only fragmentary. Therefore, the development of mathematical models for effective monitoring

(diagnosis) of the NAS state and the development of ESs on the basis of determining the gradual failures probability is necessary and very relevant. This will detect, at an early stage, the processes of destabilization and stabilization of the state of the NAS, and let to model scenarios for the development of the state of the NAS objects.

Definition still unsolved aspects of the problem.

Despite the existence of substantial studies on assess of the level of ecological safety of NAS and monitoring, but undoubtedly much remains to be done in the issue of the study of mathematical models for effective monitoring of the state of the NAS and the development of ES based on determining the probability of gradual failure.

The purpose and tasks of the study. The purpose of the study is to solve a scientific and practical task in analyzing approaches to creation of a mathematical model for monitoring the NAS and ES using GIS, GIT and methods of stochastic modeling, because it allows investigating the influence of factors that cannot be investigated by the determinate factor model.

The purpose and tasks of the study. The purpose of the study is to solve a scientific and practical task in analyzing approaches to creation of a mathematical model for monitoring the NAS and ES using GIS and GIT.

The object of the study is the mathematical models for the tasks of monitoring and diagnosing the state of the NAS with the help of GIS and GIT based on determining the gradual failures probability.

The subject of the study is the methods of mathematical modeling, algorithms and a set of programs for assessing the risk of emergencies and for modeling scenarios of their development using the GIT.

Research methods are based on the fundamental provisions of the theory of mathematical modeling, numerous methods for the solution of differential equations,

the theory of complex systems analysis, decision making, spatial analysis in GIS.

Presentation of the main material. The monitoring process consists of monitoring the properties of the objects and the implementation of targeted actions to identify and evaluate important researcher-relevant relationships between the characteristics of these properties.

The practical solution of this problem is possible on the basis of the use of modern methods of mathematical modeling and the means of geoinformation systems (GIS) and geo-information technologies (GITs), which provide a comprehensive mapping of heterogeneous and multi-linked processes of formation and development of the different origin ES which cannot be achieved under the condition of traditional technologies use.

The use of GIS enables operational monitoring, the construction of various ecological maps, as well as modeling of possible scenarios for the development of an environmental situation or emergency (Kharlamova et al., 2012). Execution of estimated calculations and cartographic visualization of the results give an opportunity to evaluate the consequences of management actions according to the most probable scenarios of the NAS and ES development and on this basis to work out adequate protective measures (Zatserkovnyi, 2014; Zatserkovnyi and Tustanovska, 2018). This provides an opportunity to increase the efficiency and validity of management decisions for warning reaction to the danger of the emergence occurrence, reduce the risk of their occurrence, in contrast to the traditional response to the consequences of their occurrence.

Relevance of the problem. Existing in Ukraine environmentally dangerous conditions connected with the presence of anthropogenic dangerous objects (nuclear power plants, chemical enterprises, objects of the petrochemical industry, dams, pipelines, etc.). In the context of improving the ecological sustainability of the NAS, reducing the risks of emergency occurrence, the task of constructing mathematical models of objects and monitoring processes is very relevant.

Mathematical models must meet certain requirements for the adequacy of the simulated process, the possibilities of their realization in automated monitoring systems in real time, the ability of automated decision making as for the state of the object and the forecast of its development (Burachek et al., 2011).

To describe the functioning of such systems, it is worth building a mathematical model of the research object. The most complete state of the object of the study is characterized by its mathematical functional and statistical model.

Under a mathematical functional statistical model one can understand the system of equations, which describes the dependence of the parameters of the object of study (NAS), GIS on external and internal impacts during functioning. Based on the analysis of this model, it is possible to formulate the main tasks that are solved by GIS when monitoring the object, and also synthesize the optimal structure of GIS.

When constructing a mathematical functional and statistical model of a monitoring object, it is necessary to take into account the fact that it includes various classes and types of systems. These systems can be stand-alone and non-autonomous, closed and open, stationary and non-stationary, non-stop and discrete. Therefore, it is relevant to use a general mathematical apparatus, which, if appropriate, can be extended to a variety of partial cases.

In addition, when constructing a mathematical functional and statistical model of an object, the main parameters of the criteria for which the optimization of the characteristics

of the control process is performed are taken into account. These parameters include:

- time of the process as a whole and of its components;
- the probability of failure-free operation and the probability of the task being performed by the various systems included in the research object and SES in general;
- accuracy of different systems, their weight, volume, cost, energy consumption and other important indicators.

The perturbed state of a research object in monitoring and management can be described by the following system of equations, which is generally a mathematical functional model (Demenkov, 2017):

$$\sum_p^m M_{lp}(t, \tau, \frac{d}{dt}, Q)x_p = F_l(t, \tau, X, Z); l = 1, 2, \dots, m, \quad (1)$$

where $X\{x_1, \dots, x_m\}$ – a vector of random time functions that characterizes the output parameters of a research object; $Z\{\zeta_1, \dots, \zeta_k\}$ – a vector of random time functions that characterizes external and internal disturbances and operating impacts; F_l – non-linear function; $M_{lp}(t, \tau, d/dt, Q)$ – a polynomial relative to differentiation operators d/dt with variable-time vector of coefficients $Q\{q_1, \dots, q_n\}$; t – current time; τ – moment of time up to which the research of the object is done.

In the monitoring process, the state of any dynamic system that is under the influence of control signals and disturbances is determined by the output parameters that are in a certain way related to the impacts on the system through the corresponding system of equations (1) vector-operator of a dynamic system, given either by a set of mathematical operations $A_{lp}(t, \tau, X, Z, Q)$, or a set of linear or nonlinear differential equations:

$$\frac{dx_i}{dt} = F_{0i}(t, \tau, X, Z), \quad i = 1, 2, \dots, m' \quad (1')$$

$$\xi_j = \sum_{i=1}^{k'} \xi_{ij}^0(t, \tau, X) \bar{\xi}_i,$$

where ξ_{ij}^0 – non-random coordination functions; $\bar{\xi}_i$ – random coefficients; F_{0i} – non-random nonlinear function.

Each group of nominal conditions with $t = \tau_0, \bar{\xi}_{01}, \dots, \bar{\xi}_{0k}$ from nominal area G_0 and initial conditions $x_{01}, \dots, x_{0m'}$ corresponds to solution of equation system (1):

$$x_{i0} = \phi_{i0}(\tau_0, \tau, x_{01}, \dots, x_{0m'}, \bar{\xi}_{01}, \dots, \bar{\xi}_{0k}). \quad (2)$$

Each group of real conditions at certain moment of time $t = \tau_1, x'_{01}, \dots, x'_{0m'}, \zeta_1, \dots, \zeta_k$ of real area G_1 corresponds to the real solution of the equation system (1):

$$x_i = \phi_i(x'_{01}, \dots, x'_{0m'}, \bar{\zeta}_1, \dots, \bar{\zeta}_k, \tau_1, \tau). \quad (3)$$

The system of equations (1) both according to the number of nonlinear operators and the number of output parameters can split into m of separate equations.

To simplify the presentation we assume that the number of output parameters is equal to the number of operators, although, in general, they may be bigger in quantity. For the i -th parameter, the system of equations (1) transforms into the equation

$$M_{lp}(t, \tau, d/dt, q, \dots, q_n)x_p = F_l(t, \tau, x_i, \zeta_1, \dots, \zeta_k). \quad (4)$$

Impulse function of the system $w(t, \tau, v, x_p, Z, Q)$, transition function of the system $h(t, \tau, v, x_p, Z, Q)$, transfer

function of the system $W(t, \tau, v, p, x_p, Z, Q)$, as well as amplitude $A(t, \tau, w_i, x_p, Z, Q)$ and phase $\phi(t, \tau, w, x_p, Z, Q)$ frequency characteristics of the system correspond to this equation during linearization.

Consideration of the equation of perturbation state of an object allows us to perform a functional analysis of the state of the object, synthesis of the control system and evaluation of its effectiveness. However, a more complete description of the static and dynamic state of an object is the probabilistic description with the help of the laws of distribution of the probabilities of parameters of input impacts elements, output parameters and vector-operators. Since the probabilities of sudden bounces are determined by known formulas of the theory of reliability, the main attention is drawn to the determination of the probability of the gradual failures occurrence.

Three mathematical models can be used to determine the probability of gradual failures:

- mathematical model based on the method of differential equations integration;
- a mathematical model based on the Monte Carlo method;
- a mathematical model based on the method of quasilinear perturbations.

Under the method of integrating differential equations one can see is a method of direct calculation of multidimensional probability densities of output parameters of a study object with the help of integration of variables that are mathematical expressions of probability densities.

Monte Carlo method consists in repeated selection of random variable of system parameters with the following definition of the law of distribution of the output parameters of the research object.

The method of quasi-linear perturbations consists in representing the output parameters in the form of a Taylor line with the following definition of the law of distribution of probabilities of the initial parameters.

To determine the differential law of the system of random output parameters $x_1(t), \dots, x_m(t)$ one can use the method described in (Demchenkova, 2017).

Assuming that the solutions are obtained (2), differential law of probability distribution $f_0(x_1(t), \dots, x_m(t), \bar{\xi}_{01}, \dots, \bar{\xi}_{0k}, \tau_0, \tau)$

of the system of random variables $x_{01}, \dots, x_{0m}, \bar{\xi}_{01}, \dots, \bar{\xi}_{0k}$, is known, the function F_{0i} has lump-continuous partial derivatives of the coordinates x_i , the solution of the system of equations (1) φ_i has second partial derivatives of x_i and t , and, moreover, the solutions have the first derivatives $\bar{\xi}_i$, then the differential law of the distribution of the system of random variables $x_1, \dots, x_m$ is determined by the equality (Gnedenko, 1988; Anderson, 1963).

$$f(x_1, \dots, x_m, t, \tau) = \int_{-\bar{\xi}_{1\min}}^{\bar{\xi}_{1\max}} \dots \int_{-\bar{\xi}_{k\min}}^{\bar{\xi}_{k\max}} f_0 \exp \left\{ - \int_{\tau_0}^t \sum_{j=1}^{m'} \frac{\partial F_{0j}}{\partial \eta_j} d\tau' \right\} d\bar{\xi}_1, \dots, d\bar{\xi}_k. \quad (5)$$

If we take into account the boundaries of value changes $\bar{\xi}_1, \dots, \bar{\xi}_k$, then the equation (5) may be re-written in the following way:

$$f(x_1, \dots, x_m, t, \tau) = \int_{-\bar{\xi}_{1\min}}^{\bar{\xi}_{1\max}} \dots \int_{-\bar{\xi}_{k\min}}^{\bar{\xi}_{k\max}} f_0 \exp \left\{ - \int_{\tau_0}^t \sum_{j=1}^{m'} \frac{\partial F_{0j}}{\partial \eta_j} d\tau' \right\} d\bar{\xi}_1, \dots, d\bar{\xi}_k,$$

Where $\eta_j = \phi_j \left[\tau_0, \tau, \phi_{\gamma}(\tau, \tau_0, x_{\sigma}, \bar{\xi}_{\gamma}), \bar{\xi}_{\gamma} \right]$ with indices j, γ, σ , which take on value $1, 2, \dots, m$, and γ take on value $1, 2, \dots, k$.

To determine the law of distribution of the transitive function of the study object it is necessary on its entry to submit leap-like effects and to determine the law

$$f(h_1, \dots, h_{m'}, t, \tau) = \int_{-\bar{\xi}_{1\min}}^{\bar{\xi}_{1\max}} \dots \int_{-\bar{\xi}_{k\min}}^{\bar{\xi}_{k\max}} f_0 \exp \left\{ - \int_{\tau_0}^t \sum_{j=1}^{m'} \frac{\partial F_{0j}}{\partial \eta_j} d\tau' \right\} d\bar{\xi}_1, \dots, d\bar{\xi}_k.$$

To determine the differential m' -dimensional law of the distribution of impulse functions, one can use the Jacobian of the transformation $l(f_h \rightarrow f_w)$, taking into account that

$$w(t, \tau, X, Z, Q) = h'(t, \tau, X, Z, Q).$$

The differential law of the distribution of the transfer function of amplitude and phase-frequency characteristics is determined in case of harmonic impacts on the object.

Then we get:

- law of distribution of the transfer function of an object

$$f(W_1, \dots, W_{m'}, t, \tau) = \int_{-\bar{\xi}_{1\min}}^{\bar{\xi}_{1\max}} \dots \int_{-\bar{\xi}_{k\min}}^{\bar{\xi}_{k\max}} f_0 \exp \left\{ - \int_{\tau_0}^t \sum_{j=1}^{m'} \frac{\partial F_{0j}}{\partial \eta_j} d\tau' \right\} d\bar{\xi}_1, \dots, d\bar{\xi}_k;$$

- the law of the distribution of the amplitude-frequency characteristic of the object:

$$f(A_1, \dots, A_{m'}, t, \tau) = \int_{-\bar{\xi}_{1\min}}^{\bar{\xi}_{1\max}} \dots \int_{-\bar{\xi}_{k\min}}^{\bar{\xi}_{k\max}} f_0 \exp \left\{ - \int_{\tau_0}^t \sum_{j=1}^{m'} \frac{\partial F_{0j}}{\partial \eta_j} d\tau' \right\} d\bar{\xi}_1, \dots, d\bar{\xi}_k;$$

- the law of the distribution of the phase-frequency characteristics of the object:

$$f(\phi_1, \dots, \phi_{m'}, t, \tau) = \int_{-\bar{\xi}_{1\min}}^{\bar{\xi}_{1\max}} \dots \int_{-\bar{\xi}_{k\min}}^{\bar{\xi}_{k\max}} f_0 \exp \left\{ - \int_{\tau_0}^t \sum_{j=1}^{m'} \frac{\partial F_{0j}}{\partial \eta_j} d\tau' \right\} d\bar{\xi}_1, \dots, d\bar{\xi}_k.$$

Thus, it is theoretically possible to quite precisely define m' -dimensional differential laws of the distribution of the output parameter and vector-operators. However, integration in explicit way is possible only when the probability density is a simple analytic function of random parameters. With the increasing number of parameters and complexity of the analytical functions, the use of the method brings up significant mathematical difficulties.

For complex objects with nonlinearities at probabilistic analysis, for practical tasks it is sometimes enough to evaluate only the first two moments of the output parameters: the mathematical expectation and the correlation function or dispersion. These moments allow us to fully determine the probability distribution law, which can be roughly considered normal.

The system of differential equations of perturbed state of an object in a generalized form is represented as (Demchenkova, 2017):

$$\begin{cases} \sum_{p=1}^m M_{ip}(t, \tau, \frac{d}{dt}, Q) x_p = F_i(X, Z, t, \tau) + \phi_i(Z_l); \\ Z_l = \sum_{i=1}^{S_l} a_i^l x_i + \sum_{j=1}^{N_l} c_j^l \bar{\xi}_j; \quad l = 1, \dots, m, \end{cases} \quad (6)$$

where a_i^l, c_j^l – constant coefficients; $X \{x_1, \dots, x_m\}$ – vector of random functions of parameter t , which determines the object motion; $Z \{\bar{\xi}_1, \dots, \bar{\xi}_k\}$ – perturbation vector which is a random

function of parameter t ; F_i – nonlinear functions which that assume linearization vs certain regime of object motion within working ranges of value or functions; ϕ_i – nonlinear functions which that do not assume regular linearization; M_{ip} – polynomials vs differentiation operator with variable coefficients in time; S_i – number of parameters that determine the object behavior; N_i – number of acting perturbations.

After corresponding transformations a linear system of equations is created for further definition of mathematical expectation of random functions:

$$\begin{cases} \sum_{p=1}^m M_{ip}(t, \tau, \frac{d}{dt}, Q) m_{xp} = F_i(t, \tau, m_x, m_t) + K_0^l m_l; \\ m_l = \sum_{i=1}^{S_i} a_i^l m_{xi} + \sum_{j=1}^{N_i} c_j^l m_{xj}. \end{cases} \quad (7)$$

And system of equations for definition of random components of functions:

$$\begin{cases} \sum_{p=1}^m M_{ip}(t, \tau, \frac{d}{dt}, Q) x_p^0 = \sum_{\mu=1}^m \left[\frac{\partial F_i}{\partial m_{x\mu}} \right]_0 x_{\mu}^0 + \sum_{j=1}^{N_i} \left[\frac{\partial F_i}{\partial m_{xj}} \right]_0 \zeta_j^0 + K_1^l z_i^0; \\ z_i^0 = \sum_{i=1}^{S_i} a_i^l x_i^0 + \sum_{j=1}^{N_i} c_j^l \zeta_j^0, \end{cases} \quad (8)$$

where K_0^l and K_1^l – statistical gain factors (Demchenko, 2017).

After integrating the systems of equations (7) and (8), for example, by the method of successive approximations, let us define the mathematical expectation, the correlation functions and the dispersion of the initial parameters.

This method of an approximate solution may be used when the method of harmonic linearization does not give the desired results.

Applying the proposed approaches for modeling scenarios of flooding the territories of the region, the authors found that a majority of match between the simulation results and the actual data provided by the Desnyanskym BUVR gives a methodology for determining the probability of gradual failures (quasilinear disturbances). The simulation results for this approach are presented in fig. 1.

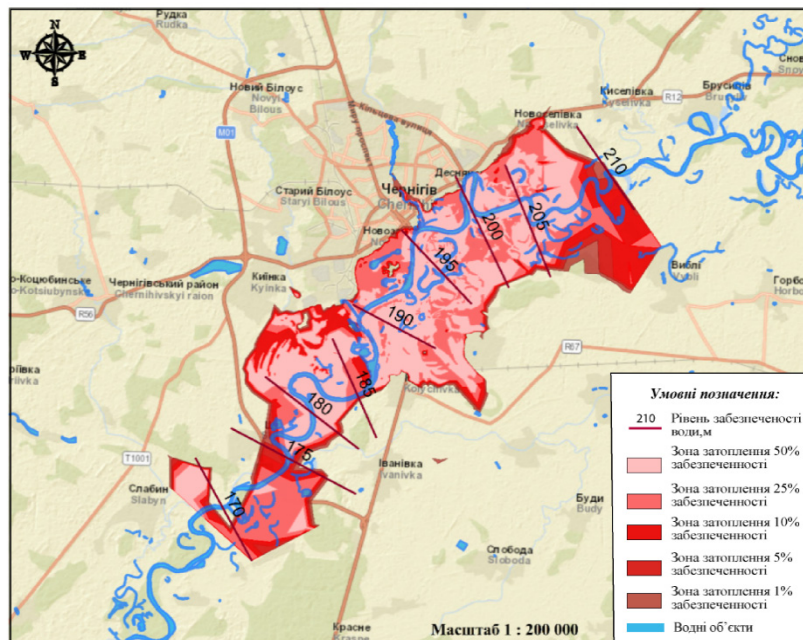


Fig. 1. Visualization of flood areas of Chernihiv surroundings with different safety levels (translation of the map signs: light pink – flood area of 50 % safety; pink – flood area of 25 % safety; red – flood area of 10 % safety; dark red – flood area of 5 % safety; brown – flood area of 1 % safety; blue line – water objects)

Water objects of the region and points of hydrological observations are represented in the digital model by three main types of spatial objects: point (hydrometric points, sampling points), linear (rivers) and polygonal (lakes, large rivers and reservoirs). As the result, a complete set of objects of the same class within a given territory forms a layer. The map provides an opportunity to designate lines of estimated water levels of 1%, 5%, 10%, 25%, 50% of the Desna River's safety in the Chernihiv region.

The terrain relief in the digital model is reflected in the form of three-dimensional data as a set of elevations and horizontal records. The digital model is used to obtain a number of morphometric derivatives or other data, including the exposure of slopes, cross-sectional profiles, generation of watershed lines, etc. Hence, a common form of creating a surface model is triangulation. One of the most frequently used triangulation models for creating a digital elevation model is TIN, when constructed, discrete points are connected by lines forming triangles. Since the surface of

each triangle is determined by the height of its three vertices, the use of triangles ensures that each surface of the network fits snugly to adjacent areas. This ensures the continuity of surfaces with an irregular location of points and determines the complete topological connections for points, and for the construction of triangles only a local search is required. The TIN contains an array of coordinates and a pointer file in which for each point all output data from it is recorded. Thus, each side is recorded twice. Based on the three-dimensional model of the relief, it is possible to assess, predict and monitor water resources, to study the change of the coastline due to the rise of the water level.

Conclusions. This study has shown that the described approaches to creating a mathematical model for the monitoring of natural-anthropogenic systems (NAS) and emergency situations (ES) based on determining the probability of gradual failures, it is advisable to use in the tasks of managing territories, forecasting the development of emergencies in monitoring NAS, making decisions in

situational centers on emergency response. It is established that three mathematical models may be applied to determine the probability of gradual failures (a mathematical model based on the integration of differential equations; a mathematical model based on the Monte Carlo method; a mathematical model based on the quasilinear disturbances method). The research results were used to simulate various scenarios of flooding in the territories of the Chernihiv region. Therefore, the construction and application of the proposed mathematical models is an important in the creation of effective monitoring systems and increase the control of territory management.

Список використаних джерел

- Андерсон, Т. (1963). Введение и многомерный статистический анализ. Киев. Биченко, М. М., Іванюта, С. П., Яковлев, Є. О. (2009). Ризики життєвості у природно-техногенному середовищі: монографія. Київ: РНБО. Бурачек, В. Г., Железняк, О. О., Зацерковний, В. І. (2011). Геоінформаційний аналіз просторових даних: монографія. Ніжин: Аспект-Поліграф. Гнеденко, Б. В. (1988). Курс теории вероятностей. Москва: Наука. Деменков, Н. П. (2017). Статистическая динамика систем управления: учебное пособие. Москва: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана. Зацерковний, В. І., Тустановська, Л. В. (2018). Геоінформатика. Ніжин: НДУ ім. М. Гоголя. Зацерковний, В. І. (2014). Аналіз моделей інтеграції технологій ГІС, ДЗЗ і GPS в задачах моніторингу стану навколишнього середовища. *Математичні машини і системи*, 4, 44–52. Качинский, А. Б., Агаркова, Н. В., (2013). Структурный анализ системы обеспечения экологической и природно-техногенной безопасности Украины. *Системні дослідження та інформаційні технології*, 1, 7–15. Лисиченко, Г. В., Забулонов, Ю. Л., Хміль, Г. А. (2008). Природний, техногенний та екологічний ризики: аналіз, оцінка, управління. Київ: Наукова думка. Статюха, Г. О., Бойко, Т. В. (2013). Системний підхід до оцінювання ризиків при проектуванні промислових об'єктів. *Східно-Європейський журнал передових технологій*, 14, 8–12. Харламова, Е. В., Малеваний, М. С., Пляцук, Л. Д. (2012). Теоретические основы управления экологической безопасностью техногенно нагруженного региона. *Экологическая безопасность*, 1, 9–12. Cao, Q., Yu, Q., Connell, D. W. (2013). Health risk characterisation for environmental pollutants with a new concept of overall risk probability. *Journal of Hazardous Materials*, 187, 480–487. Costantini, V. H., Mazzanti, M., Montini, A. (2012). *Economic-Environmental Accounts* Routledge: New York. Dies, A. M. (2015). Economic aspects of thermal treatment of solid waste in sustainable system. *Waste Management*, 37, 45–57.

В. Зацерковний, д-р техн. наук

E-mail: vitallii.zatsekovnyi@gmail.com;

Л. Плечко, асп., E-mail: PlichkoL@ukr.net

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, ННІ "Інститут геології"

вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна;

М. Богославський, асп., E-mail: mbogoslavskyu@gmail.com

Національний авіаційний університет

пр. Космонавта Комарова, 1, м. Київ, 03058, Україна

Ordouea, M. H., Dusseault, M. B., Alhajric, I. (2015). New sustainability indices for product design employing environmental impact and risk reduction: case study on gasoline blends. *Journal of Cleaner Production*, 108, Part A, 312–320.

Whittaker, M. H. (2015). Risk Assessment and Alternatives Assessment: Comparing Two Methodologies. *Risk Analysis*, 35, 12, 2129–2136.

References

- Anderson, T. (1963). Introduction and multidimensional statistical analysis. Kiev. [in Russian]. Burachek, V. G., Zheleznyak, O. O., Zatserkovny, V. I. (2011). Geoinformation analysis of spatial data: monograph. Nizhyn: Aspect-Polygraph. [in Ukrainian] Bychenok, M. M., Ivaniuta, S. P., Yakovleva, E. A. (2009). Risks of life in the natural and man-made environment: monograph. Kyiv: NSDC. [in Ukrainian] Cao, Q., Yu, Q., Connell, D. W. (2013). Health risk characterisation for environmental pollutants with a new concept of overall risk probability. *Journal of Hazardous Materials*, 187, 480–487. Costantini, V. H., Mazzanti, M., Montini, A. (2012). *Economic-Environmental Accounts* Routledge: New York. Demenkov, N. P. (2017). Statistical dynamics of control systems: a manual. Moscow: Publishing MGTU N.E. Bauman. [in Russian] Dies, A. M. (2015). Economic aspects of thermal treatment of solid waste in sustainable system. *Waste Management*, 37, 45–57. Gnedenko, B. V. (1988). The course of probability theory. Moscow: Science. [in Russian]. Kachinsky, A. B., Agarkova, N. V. (2013). Structural analysis of the system for ensuring ecological and natural and technogenic safety of Ukraine. *System Research and Information Technology*, 1, 7–15. [in Ukrainian] Kharlamova, E. V., Malevany, M. S., Plyatsuk, L. D. (2012). Theoretical bases of environmental safety management of a technologically loaded region. *Ecological safety*, 1, 9–12. [in Russian] Lysychenko, H. V., Zabolonov, Yu. L., Khmil, G. A. (2008). Natural, technological and environmental risk analysis, assessment and management. Kyiv: Scientific Thought. [in Ukrainian] Ordouea, M. H., Dusseault, M. B., Alhajric, I. (2015). New sustainability indices for product design employing environmental impact and risk reduction: case study on gasoline blends. *Journal of Cleaner Production*, 108, Part A, 312–320. Statyukha, G. O., Boyko, T. V. (2013). System approach to risk assessment when designing industrial objects. *Eastern European Journal of Advanced Technologies*, 14, 8–12. [in Ukrainian] Whittaker, M. H. (2015). Risk Assessment and Alternatives Assessment: Comparing Two Methodologies. *Risk Analysis*, 35, 12, 2129–2136. Zatserkovnyi, V. I. (2014). Analysis of models of integration of GIS, remote sensing and GPS technologies in environmental monitoring tasks. *Mathematical Machines and Systems*, 4, 44–52. [in Ukrainian] Zatserkovnyi, V. I., Tustanovska, L. V. (2018). Geoinformatics. Nizhyn: NDU M. Gogol. [in Ukrainian]

Надійшла до редколегії 11.12.18

АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ЩОДО СТВОРЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ЗАДАЧ МОНІТОРИНГУ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ВИЗНАЧЕННЯ ІМОВІРНОСТІ ПОСТУПОВИХ ВІДМОВ

Викладено підходи створення математичної моделі для задач моніторингу природно-техногенних систем (ПТС) і надзвичайних ситуацій (НС) на основі визначення імовірності поступових відмов.

Моніторинг ПТС і НС передбачає комплексні спостереження за змінами природно-техногенного середовища та його компонентів. Складність цього процесу зумовлюється головним чином складністю діагностування об'єктів моніторингу і точного виміру великої кількості показників, що визначають умови і фактори стану ПТС, екологічного забруднення тощо.

Практичне розв'язання цієї задачі можливе на основі використання сучасних методів математичного та геоінформаційного моделювання, які забезпечують комплексне відображення різномірних і багатозв'язаних процесів формування і розвитку надзвичайних ситуацій різного походження, що неможливо досягти за умови використання традиційних технологій.

Для опису функціонування систем моніторингу доцільно побудувати математичну модель об'єкта дослідження. Найбільш повно стан об'єкта дослідження характеризує його математична функціонально-статистична модель. Проте більш повною характеристикою статичного і динамічного стану об'єкта моніторингу є імовірнісний опис стану об'єктів за допомогою законів розподілу імовірностей параметрів елементів їхніх впливів, вихідних параметрів і векторів-операторів. Оскільки імовірності раптових відмов визначаються за відомими формулами теорії надійності, то основна увага звертається на визначення імовірності появи поступових відмов. Установлено, що для визначення імовірності поступових відмов можуть бути використані три математичні моделі (математична модель, заснована на інтеграції диференціальних рівнянь; математична модель на основі методу Монте-Карло; математична модель на основі методу квазілінійних збурень). Результати показують, що запропонований метод дослідження можливо використовувати для моделювання різних сценаріїв заповнення території Чернігівської області.

Ключові слова: природно-техногенні системи, надзвичайні ситуації, моделі, геоінформаційні системи, геоінформаційні технології.

В. Зацерковный, д-р техн. наук
E-mail: vitallii.zatsekovnyi@gmail.com;
Л. Пличко, асп., E-mail: PlichkoL@ukr.net
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, УНИ "Институт геологии"
ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина;
М. Богославский, асп., E-mail: mbogoslavskyu@gmail.com
Национальный авиационный университет
просп. Космонавта Комарова, 1, г. Киев, 03058, Украина

АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К СОЗДАНИЮ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ЗАДАЧ МОНИТОРИНГА ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТИ ПОСТЕПЕННЫХ ОТКАЗОВ

Изложены подходы создания математической модели для задач мониторинга природно-техногенных систем (ПТС) и чрезвычайных ситуаций (ЧС) на основе определения вероятности постепенных отказов.

Мониторинг ПТС и ЧС предусматривает комплексные наблюдения за изменениями природно-техногенной среды и ее компонентов. Сложность этого процесса обуславливается главным образом сложностью диагностирования объектов мониторинга и точного измерения большого количества показателей, которые определяют условия и факторы состояния ПТС, экологического загрязнения и т.д.

Практическое решение этой задачи возможно на основе использования современных методов математического и геоинформационного моделирования, которые обеспечивают комплексное отображение разнородных и многосвязных процессов формирования и развития чрезвычайных ситуаций различного происхождения, что невозможно достичь при условии использования традиционных технологий.

Для описания функционирования систем мониторинга целесообразно построить математическую модель объекта исследования. Наиболее полно состояние объекта исследования характеризует его математическая функционально-статистическая модель. Однако более полной характеристикой статического и динамического состояния объекта мониторинга является вероятностное описание состояния объектов с помощью законов распределения вероятностей параметров элементов входных влияний, выходных параметров и векторов-операторов. Поскольку вероятность внезапных отказов определяется по известным формулам теории надежности, то основное внимание уделяется определению вероятности появления постепенных отказов. Установлено, что для определения вероятности постепенных отказов могут применяться три математические модели (математическая модель, основанная на интегрировании дифференциальных уравнений; математическая модель, основанная на методе Монте-Карло; математическая модель, основанная на методе квазилинейных возмущений). Полученные результаты показывают, что предлагаемый метод исследования можно использовать для моделирования различных сценариев затопления территории Черниговской области.

Ключевые слова: природно-техногенные системы, чрезвычайные ситуации, модели, геоинформационные системы, геоинформационные технологии.

ПОДІЇ

УДК 55:378.4(477-25)

В. Михайлов, д-р геол. наук, проф.

E-mail: vladvam@gmail.com

Київський національний університет імені Тараса Шевченка
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна

ГЕОЛОГІЧНОМУ ФАКУЛЬТЕТУ – 75 РОКІВ!

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

Стисло викладено історію створення і розвитку геологічного факультету (навчально-наукового інституту "Інститут геології") Київського національного університету імені Тараса Шевченка, охарактеризовано розвиток геологічної школи Київського університету та її роль у створенні вітчизняної Академії наук і Геологічної служби України. Розглянуто структуру Інституту, кадровий склад, напрями і проблеми підготовки пошукувачів вищої освіти на сучасному етапі. Показано значну роль наукової роботи в навчальному процесі, викладено напрями такої роботи. Охарактеризовано високий рівень підготовки студентів, їхні досягнення в освітянській і науковій сферах, участь у міжнародних освітянських структурах, проблеми працевлаштування. Показано, що Інститут здійснює широке міжнародне співробітництво, проводить наукові дослідження і геологорозвідувальні роботи в багатьох державах світу, а викладачі Інституту залучаються до читання лекцій в провідних університетах світу. Таким чином, Інститут є унікальною освітянсько-науковою структурою, де представлені всі навчальні спеціальності й спеціалізації освітянської геологічної галузі України, яка спроможна забезпечити високу якість і неперервність геологічної освіти, починаючи з учнів 9–10 класів (молодший спеціаліст) і закінчуючи фахівцями найвищого ґатунку (кандидати і доктори наук).

Ключові слова: геологічний факультет, навчально-науковий інститут "Інститут геології", освіта, наука.

У 2019 р. виповнюється 75 років геологічному факультету (з 2015 р. – навчально-науковий інститут "Інститут геології") Київського національного університету імені Тараса Шевченка!

Власне геологічний (на той час – геолого-ґрунтознавчий) факультет був створений як окремий структурний підрозділ Київського державного університету імені Т. Г. Шевченка лише в 1944 р., коли він був виокремлений зі складу геолого-географічного факультету (створений у 1933 р.). Але зародження геологічної школи Київського університету відбулося ще в далекі часи утворення університету (1834–1891), коли серед перших 13 кафедр на фізико-математичному відділенні філософського факультету була відкрита кафедра мінералогії та геогнозії, на якій працювали такі вчені, як С. Ф. Зенович, Е. К. Гофман, А. С. Рогович, К. М. Феофілактів. Останній очолював кафедру із 1845 по 1891 р. і заслужено вважається засновником геологічної школи Київського університету (рис. 1).



Рис. 1. Засновник геологічної школи Київського університету
Феофілактів Костянтин Матвійович

Наприкінці XIX і на початку XX століття тут працювали такі видатні вчені-геологи, як Павло Аполлонович Тутковський (1858–1930), Володимир Іванович Лучицький (1877–1949), Петро Миколайович Чирвінський (1880–1955).

Київський університет був фундатором геологічного блоку Української академії наук, заснованої указом гетьмана Скоропадського 14 листопада 1918 р., першим президентом якої був видатний український геолог В. І. Вернадський, а перший Інститут геології АН УРСР виник у 1926 р. шляхом реорганізації кафедри геології Київського інституту народної освіти (як тоді називався наш університет). Його першим директором був професор університету П. А. Тутковський. З надр Київського університету вийшла і структура Державної геологічної служби України – Укргеолком, заснований 1 лютого 1918 р. Його організаторами і першими дослідниками були саме геологи школи Київського університету: В. І. Лучицький, Б. Л. Лічков, М. І. Безбородько, П. Я. Армашевський, П. А. Тутковський, В. А. Дубянський та ін.

У 1933 р. Київський інститут народної освіти був ліквідований і відновлений Київський державний університет, у складі якого був створений геолого-географічний факультет, на якому працювало вже чотири кафедри геологічного спрямування: загальної геології (В. І. Крокос), історичної геології та палеонтології (Б. І. Чернишов), петрографії та корисних копалин (М. І. Безбородько, М. Г. Світальський, Л. Г. Ткачук, І. С. Усенко), мінералогії та кристалографії (М. К. Шматько).

У 1944 р. у складі Університету було створено геологічний (у перші роки – геолого-ґрунтознавчий) факультет уже у складі 8 кафедр: геології родовищ корисних копалин (М. П. Семененко, Є. В. Шевченко, В. К. Куліковський, В. І. Скаржинський, Ю. Є. Добрянський, І. П. Щербань, Д. М. Щербак, В. А. Михайлов, В. М. Загнітко); гідрогеології та інженерної геології (К. І. Маков, А. Є. Бабінець, Ф. А. Руденко, І. Є. Жернов, А. Г. Солдак, М. І. Дробноход, О. Є. Кошляков); геофізики (В. О. Сельський, І. А. Балабушевич, В. М. Головцин, М. Ф. Скопиченко, М. І. Толстой, Ю. В. Тимошин, Г. Т. Продайвода, С. А. Вижва); геохімії (Б. О. Гаврусевич), мінералогії і кристалографії (М. К. Шматько, С. П. Родіонов), петрографії (В. І. Лучицький, І. С. Усенко, В. А. Сліпченко), які в 1953 р. були об'єднані в кафедру мінералогії і геохімії (І. Д. Седлецький, Б. О. Гаврусевич, В. Т. Латиш, Ю. О. Русько, О. В. Зінченко), а з 1980 р. – у кафедру мінералогії, геохімії та петрографії (О. В. Зінченко,

В. Г. Молявко, В. Ф. Грінченко, С. Є. Шнюков); загальної геології (В. Г. Бондарчук); історичної геології та палеонтології (Б. І. Чернишов). Останні дві кафедри за час існування факультету витримали численні реорганізації: кафедри історичної геології (М. М. Ключников), палеонтології (В. І. Чернишов, О. Д. Сергєєв), геології СРСР (І. Є. Слезняк), загальної геології та геології СРСР (О. Л. Ейнон), палеонтології та геології СРСР (О. Л. Ейнон), історичної та загальної геології (І. Л. Соколовський), регіональної геології та палеонтології (В. С. Зайка-Новачкий, В. М. Нероденко), загальної та історичної геології (С. А. Мороз, О. І. Лукієнко, В. В. Шевчук, О. М. Іванік). У 2008 р. на факультеті була відкрита нова кафедра геоінформатики (М. А. Якимчук, І. В. Тишаєв, В. І. Зацерковний), а в 2010 р. – геології нафти і газу (О. М. Карпенко).

У різні роки факультет очолювали:

- 1945–1948 – доцент Гаврусевич Борис Олександрович;
- 1949–1951 – професор Родіонов Сергій Петрович;
- 1951–1968 – професор Руденко Федір Андрійович;
- 1968–1976 – доцент Скопиченко Михайло Федорович;
- 1976–1985 – доцент Сліпченко Вадим Антонович;
- 1985–1988 – доцент Солдак Анатолій Георгієвич;
- 1988–1999 – доцент Шабатін Віктор Степанович;
- 1999–2004 – професор Грінченко Віктор Федорович;
- 2004–2007 – професор Михайлов Володимир Альбертович;
- 2007–2012 – професор Вихва Сергій Андрійович;
- 2013–2014 – професор Михайлов Володимир Альбертович.

Наказом ректора Київського національного університету імені Тараса Шевченка від 11 серпня 2014 р. з метою "запровадження нових організаційно-структурних форм наукової підготовки висококваліфікованих фахівців і поглиблення наукових досліджень в галузі геології" на базі геологічного факультету було створено навчально-науковий інститут "Інститут геології". Тим же наказом Інституту був підпорядкований Коледж геологорозвідувальних технологій (КГРТ).

Нині ННІ "Інститут геології" є потужною науково-освітньою структурою, роботу якої забезпечують сім кафедр, науково-дослідна, адміністративно-організаційна і господарська частини. Крім того до складу Інституту входять Інформаційно-обчислювальний сектор і геологічний музей. Інституту також підпорядкований Коледж геологорозвідувальних технологій з базою практик в смт Корнин. Керівництво Інституту:

Директор Інституту – Михайлов В. А., д-р геол. наук, проф.

Заступники директора:

- з наукової і міжнародної роботи – Безродна І. М., канд. геол. наук, старш. наук. співроб.;
- з науково-педагогічної роботи – Демидов В. К., канд. фіз.-мат. наук, доц.;
- з виховної роботи – Шунько В. В., канд. геол.-мінералог. наук, доц.

Кафедри Інституту (завідувачі кафедр):

- загальної та історичної геології (Іванік О. М., д-р геол. наук, проф.);
- геології родовищ корисних копалин (Загнітко В. М., д-р геол.-мінералог. наук, проф.);
- геології нафти і газу (Карпенко О. М., д-р геол. наук, проф.);
- мінералогії, геохімії та петрографії (Шнюков С. Є., д-р геол. наук, доц.);
- гідрогеології та інженерної геології (Кошляков О. Є., д-р геол. наук, проф.);
- геофізики (Вихва С. А., д-р геол. наук, проф.);

- геоінформатики (Зацерковний В. І., д-р техн. наук, проф.).

Науково-дослідні лабораторії (їхні керівники):

- теоретичної і прикладної геофізики (Онищук І. І., канд. геол. наук, старш. наук. співроб.);
- мінералого-геохімічних досліджень (Синицин В. О., канд. геол.-мінералог. наук, старш. наук. співроб.).

Навчальний процес в Інституті забезпечує 61 викладач, із них 24 доктори і 36 кандидатів наук, включаючи 11 залучених до освітнього процесу співробітників НАН України. На 01.01.19 в Інституті навчається понад 400 пошукувачів вищої освіти, включаючи бакалаврів (250 осіб), магістрів (139), аспірантів (15) і докторантів (1). Підготовка пошукувачів вищої освіти здійснюється за двома спеціальностями: 103 "Науки про Землю" (за навчальними програмами і спеціалізаціями: Геологія, Геофізика, Гідрогеологія, Геоінформатика, Геологія нафти і газу, Геохімія і мінералогія, Economic Geology, Applied Geology) і 193 "Геодезія і картографія" (Геоінформаційні системи і технології, Оцінка землі та нерухомого майна).

Однак в останні роки ми зіштовхнулися з проблемою зменшення набору студентів, що пов'язано із загальним занедбаним станом геологічної галузі України, зменшенням кількості випускників середніх шкіл, відтоком молоді на навчання в західні країни (Польща, Німеччина, Швейцарія тощо). Український негативний вплив на набір абітурієнтів здійснило введення Міністерством освіти і науки України в 2016 р. незрозумілої для абітурієнтів спеціальності "Науки про Землю", яка об'єднала 21 спеціальність трьох галузей знань, а саме "Геологія", "Географія" і "Гідрометеорологія", що призвело до "розчинення" саме наук про Землю, у тому числі геології в географічних науках соціально-економічного напрямку. Пізніше, у 2017 р. зі спеціальності "Науки про Землю" була виокремлена спеціальність "Географія", що дещо, але не до кінця, виправило ситуацію. Тим не менш, проблема з набором як ніколи гостро стоїть перед ВНЗ України геологічного спрямування. Ми намагаємося розв'язати цю проблему шляхом інтенсифікації профорієнтаційної роботи, підвищення якості навчання, введенням нових навчальних програм, у тому числі англійських і такі інші, але слід сказати прямо – поки в Державі не відродиться повноцінна геологічна галузь, набори студентів на геологічні спеціальності зростати не будуть. Це створює загрозу стагнації геологічної галузі України, яка є однією з найважливіших бюджетотворювальних галузей нашої країни.

Тим не менш, незважаючи на несприятливі соціально-економічні умови, Інститут забезпечує високу якість навчання. У ці нелегкі часи ми зберегли кадровий потенціал Інституту, лабораторну базу, повсякчасно підвищуємо якість аудиторного фонду, застосовуємо новітні методи навчання, готуємо і видаємо численні навчально-методичні матеріали. Наш Інститут є базовою методичною установою в системі геологічної освіти України. З більшості фахових навчальних дисциплін розробляються та оновлюються лекції у вигляді мультимедійних презентацій. Видається багато підручників і навчальних посібників, так, тільки в 2017/2018 н.р. були видані такі підручники та навчальні посібники:

1. Шевчук В. В., Гінтов О. Б. Структурованість Українського щита та особливості ранньодокембрійського розломоутворення на прикладі Голованівської шовної зони. 2017. 162 с.
2. Вихва С. А., Онищук В. І., Онищук І. І., Рева М. В. Інженерна геофізика. 2018. 582 с.
3. Павлишин В., Ворошилов Ю., Квасниця І. Мінералогія. Короткий курс для бакалаврів. 2017. 527 с.
4. Зацерковний В. І. Дистанційне зондування Землі. Фізичні основи. 2018. 380 с.

5. Зацерковний В. І., Тустановська Л. В. Геоінформатика. 2018. 467 с.

Однією з найсуттєвіших рис нашого життя є наукова робота. У зв'язку зі скороченням асигнувань на наукову роботу і підвищенням вимог до наукових держбюджетних тем науково-дослідна частина Інституту постійно скорочується: із 25 ставок у 2017 р. до 20 ставок у 2018 р. У 2018 р. завершено виконання держбюджетної теми № 16БФ049-01 "Розробка комплексної петролого-мінерало-геохімічної моделі північно-західної частини Українського щита на базі створеного Геологічного депозитарію цього регіону" (н. к. Шнюков С. Є.). На жаль, цей колектив не отримав фінансування на 2019 р. Сьогодні в Інституті виконується одна держбюджетна тема, а саме тема 18БП049-01 "Сучасні технології моніторингу природних і природно-техногенних процесів для оцінки впливу на об'єкти критичної інфраструктури" (н. к. Вишва С. А.). Крім того, в Інституті здійснюється виконання низки кафедральних і міжкафедральних тем за основними напрямками роботи кафедр.

Становище з бюджетним фінансуванням вимагає інтенсивної роботи з пошуку позабюджетного фінансування, зокрема госпдоговорів у межах України та грантів у міжнародних наукових фондах; підвищення публікаційної активності наукових співробітників.

Інститут проводить численні госпдоговірні науково-дослідницькі роботи, такі як "Науковий супровід геологорозвідувальних робіт на уран та інші корисні копалини в Ісламській Республіці Мавританія", компанія Bonkov Invest Group Snc (Канада), договір 18ДП049-01 (н. к. Михайлов В. А.); "Спеціалізоване мінерало-геохімічне дослідження руд Єристовського родовища з метою прогнозування якості окатишів" (н. к. Шнюков С. Є.) та інші на загальну суму понад 3 млн грн. Співробітники Інституту час від часу отримують міжнародні гранти на виконання НДР, на придбання сучасного програмного забезпечення.

Інститут відвідують численні зарубіжні вчені, які читають лекції студентам, проводять спільні наукові дослідження з фахівцями Інституту. Так, тільки в 2018 р. гостями Інституту були 12 закордонних учених, які представляли

університети і виробничі організації Франції, Австралії, Литви, Великої Британії, Угорщини, Чехії тощо.

Співробітниками Інституту здійснюється значна публікаційна діяльність. Так, лише в 2018 р. загальна кількість публікацій становила 370 (у 2017 – 332), з яких статей – 107 (2017 р. – 121), із них у зарубіжних виданнях – 19 (2017 р. – 18), у тому числі 10 монографій, 3 підручники, 4 посібники.

Співробітниками Інституту в 2018 р. було організовано і проведено 16 конференцій та семінарів міжнародного та всеукраїнського рівня. Усього співробітники Інституту в 2018 р. взяли участь у 47 конференціях, на яких зробили 236 доповідей. Крім того, у 2018 р. співробітники Інституту брали участь у трьох виставках, на яких представлялися геофізична апаратура, презентації та інформаційні плакати, що освітлюють наукові здобутки розробників, а також мінералогічні колекції.

В Інституті працюють дві спеціалізовані вчені ради із захисту кандидатських і докторських дисертацій за спеціальностями геофізика і геоінформатика (Д 26.001.42), загальна та регіональна геологія, геологія металевих і неметалевих корисних копалин, економічна геологія (Д 26.001.32). За часи роботи спеціалізованих рад було успішно захищено десятки кандидатських і докторських дисертацій.

Важливою аспектом навчання в ННІ "Інститут геології" є проведення геологічних практик на базах у Каневі, Корнині, Карпатах. В останні роки завдяки грантовій підтримці найкращі наші студенти мають змогу проходити геологічні практики в Норвегії (2015), Греції (2017), приймати іноземних студентів на вітчизняних полігонах у Карпатах (рис. 2).

Повсякчасно зростає рівень підготовки студентів, їхня участь у науковій роботі. Так, тільки в 2017/2018 н.р. кількість наукових публікацій студентів становила 81, кількість виступів на наукових конференціях – 122; кількість переможців і призерів конкурсів наукових робіт – 3, всеукраїнських студентських олімпіад – 1; студентський науковий осередок SEG (Society of Exploration Geophysicists) здобув 1-ше місце з більше як 500 осередків SEG світу (рис. 3).



Рис. 2. Практика в Норвегії, 2016 р.



Рис. 3. Представники переможців конкурсу SEG, студенти Інституту О. Петрошин і О. Лошаков

Наші студенти є членами таких поважних міжнародних асоціацій, як EAGE – Європейська Асоціація геонауковців та інженерів; SEG – Товариство геофізиків-розвідників;

АИС – Асоціація дослідників свердловин; AAPG – Америка-нська асоціація нафтових геологів; Society of Economic Geologists – міжнародна спілка економгеологів. Вони

відвідують наукові конференції й польові міжнародні навчальні табори в різних країнах світу (США, Угорщина, Чехія, Румунія, Польща), організують такі табори в Україні, беруть участь у проведенні престижних міжнародних наукових конкурсів, зокрема є багаторічними учасниками змагань Imperial Barrel Award у Празі (Чехія), організованих American Association of Petroleum Geologists (AAPG); беруть участь у програмах академічної мобільності, зокрема Erasmus+, Mitacs, Міжнародної агенції з атомної енергії тощо. Аспірант Інституту Чернов Анатолій у 2017–2018 рр. був в Антарктиді у складі XXII української антарктичної експедиції (грант надав Національний антарктичний науковий центр).

Наші випускники працюють у провідних підприємствах, геологорозвідувальних компаніях, академічних інститутах України і світу, таких як НАК "Нафтогаз", НАК "Надра", Держгеолнадра, інститутах НАН України, ДЕТЕК, Shell, Schlumberger та ін. Деякі випускники Інституту навчаються в аспірантурі у Швейцарії та Австралії.

Інститут здійснює широке міжнародне співробітництво з багатьма державами світу, співробітники інституту за рахунок зарубіжних партнерів проводять наукові дослідження в інших країнах, беруть участь у наукових конференціях, круглих столах, нарадах; проходять стажування; отримують програмне забезпечення провідних зарубіжних організацій; читають лекції тощо. Тісні

стосунки, зокрема, склалися з університетами природних ресурсів і наук про життя (ВКУ) (Австрія), Лотарингії, Нансі, Пуатьє (Франція), Ньюкасл (Велика Британія), Зікенберзьким (Німеччина), China University of Geosciences Beijing (КНР), Ставангеру (Норвегія), Адама Міцкевича (Польща), Бухаресту і Ясс (Румунія), Гірничо-геологічним університетом Софії (Болгарія), Миколаса Ромеріса (Литва), Карагандинським (Казахстан); Європейською асоціацією геовчених та інженерів (EAGE) (Нідерланди); Угорським музеєм Природничої Історії (Угорщина); Міжнародною агенцією з атомної енергії (Австрія); Геологічною службою США; Інститутом наук про Землю Словацької академії наук (Словаччина); з компаніями "Petroleum Experts" (Велика Британія), "Baker Hughes" (США), Bonkov Invest Group Inc (Канада), Favss Limited (Танзанія).

Наші викладачі запрошуються для читання лекцій у провідних ВНЗ світу. Так, курси лекцій читали: професори В. І. Павлишин, О. В. Митрохин, В. А. Михайлов – у 2013 р. у Московському державному університеті імені М. В. Ломоносова; професор О. Є. Кошляков – у 2014 р. у Східноказахстанському технічному університеті імені Д. Серикбаєва; професор О. М. Іваник – у 2018 р. у Віденському університеті природних ресурсів і наук про життя; професор В. А. Михайлов – у 2018 р. у China University of Geosciences Beijing; доцент І. М. Байсарович – у 2018 р. в Університеті Ставангера (Норвегія) (рис. 4).



Рис. 4. Професор О. М. Іваник на лекції для студентів Віденського університету

Викладачами і співробітниками Інституту здійснюються геологорозвідувальні роботи, експертна оцінка різноманітних корисних копалин у різних країнах світу: у Гвінеї (2003–2004), Вірменії (2004, 2007), на Мадагаскарі (2008), у Ліберії (2011–2012), Лаосі (2012–2013), Камеруні (2013), Мавританії (2011–2019), Танзанії (2018) (рис. 5).

Продовжується співпраця з вітчизняними науковими установами, такими як Інститут геологічних наук, Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М. П. Семененка, Інститутом геофізики імені С. І. Субботіна, Інститутом геохімії навколишнього середовища, Інститутом ґрунтознавства і агрохімії ім. Соколовського НАН України; Українським державним геологорозвідувальним інститутом (УкрДГРІ) та ін.

Журнал "Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія" з 2015 р. індексується в зарубіжній базі ESCI Web of Science.

У рамках профорієнтаційної роботи співробітники Інституту беруть участь у загальноуніверситетських заходах (дні відкритих дверей, освітні виставки, профорієнтаційні конференції, ярмарки вакансій та ін.); організують інститутські дні відкритих дверей і ярмарки

вакансій; екскурсії до геологічного музею; конкурси та олімпіади у сфері наук про Землю; працюють у школах, гімназіях, коледжах Києва та інших областях України; матеріали щодо профорієнтаційної роботи систематично висвітлюються на сайті ННІ "Інститут геології" та в соціальних мережах Facebook і YouTube.

Таким чином, за постійної підтримки керівництва Київського національного університету імені Тараса Шевченка і особисто ректора, академіка Л. В. Губерського на базі геологічного факультету створена унікальна освітньо-наукова структура, де представлено всі навчальні спеціальності й спеціалізації освітнянської геологічної галузі України, яка спроможна забезпечити високу якість і неперервність геологічної освіти, починаючи з учнів 9–10 класів (молодший спеціаліст) і закінчуючи фахівцями найвищого ґатунку (кандидати і доктори наук) – ННІ "Інститут геології", якому підпорядкований Коледж геологорозвідувальних технологій. Вочевидь, майбутнє геологічної галузі України багато в чому пов'язано із функціонуванням цієї структури.



Рис. 5. На пошуках золота в Ліберії

Потрібно констатувати, що сучасний ринок геологічної праці вимагає від випускників глибоких знань і професіоналізму, самостійності та оригінальності мислення, досконалого знання іноземних мов, насамперед англійської, володіння сучасними комп'ютерними програмами обробки геологічної інформації тощо. Треба мати на увазі, що для випускників українських ВНЗ ринок праці не обмежується тільки Україною, але й розповсюджується практично на весь світ. Удосконалення навчального процесу, приведення його до сучасного світового

рівня, розширення і поглиблення наукових досліджень повинно стати головними завданнями нашого Інституту, як і інших навчальних закладів геологічного профілю на найближче майбутнє. Не можна забувати, що геологія є не тільки сферою фундаментальних наукових досліджень, але й однією з найважливіших бюджетотворювальних галузей народного господарства України.

Зі святом вас, дорогі випускники геологічного факультету КНУ імені Тараса Шевченка!

Надійшла до редколегії 12.02.19

V. Mykhailov, Dr. Sci. (Geol.), Prof.,
E-mail: vladvam@gmail.com
Taras Shevchenko National University of Kyiv
Institute of Geology, 90, Vasylkivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine

GEOLOGICAL FACULTY – 75 YEARS OLD!

The history of the creation and development of the Geological Faculty (Educational-scientific "Institute of Geology") at the Taras Shevchenko National University of Kyiv is briefly described, the development of the geological school of the University of Kyiv and its role in the creation of the National Academy of Sciences and the Geological Service of Ukraine are described. The structure of the Institute, personnel structure, directions and problems of preparation of higher education graduates at the present stage are considered. A significant role of scientific work in the educational process is shown, directions of such a work are outlined. The high level of preparation of students, their achievements in the educational and scientific spheres, participation in international educational structures, and the problems of employment are characterized. It is shown that the Institute carries out extensive international cooperation, conducts research and exploration work in many countries of the world, and teaching staff of the Institute is involved in lecturing at leading universities of the world. Thus, the Institute is a unique educational and scientific structure, where all educational specialties and specializations of the educational geological branch of Ukraine are presented, which is capable of ensuring the high quality and continuity of geological education starting with students of grades 9–10 (junior specialist) and ending with specialists of the highest level (candidates and doctors of sciences).

Keywords: Geological Faculty, Educational-scientific Institute "Institute of Geology", education, science.

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

ГЕОЛОГИЧЕСКОМУ ФАКУЛЬТЕТУ – 75 ЛЕТ!

Кратко изложена история создания и развития геологического факультета (учебно-научного института "Институт геологии") Киевского национального университета имени Тараса Шевченко, охарактеризовано развитие геологической школы Киевского университета и ее роль в создании отечественной Академии наук и Геологической службы Украины. Рассмотрена структура Института, кадровый состав, направления и проблемы подготовки соискателей высшего образования на современном этапе. Показана значительная роль научной работы в учебном процессе, изложены направления такой работы. Охарактеризован высокий уровень подготовки студентов, их достижения в образовательной и научной сферах, участие в международных образовательных структурах, проблемы трудоустройства. Показано, что Институт осуществляет широкое международное сотрудничество, проводит научные исследования и геологоразведочные работы во многих странах мира, а преподаватели Института привлекаются к чтению лекций в ведущих университетах мира. Таким образом, Институт является уникальной образовательно-научной структурой, где представлены все учебные специальности и специализации образовательной геологической отрасли Украины, которая способна обеспечить высокое качество и непрерывность геологического образования начиная с учащихся 9–10 классов (младший специалист) и заканчивая специалистами высочайшего уровня (кандидаты и доктора наук).

Ключевые слова: геологический факультет, учебно-научный институт "Институт геологии", образование, наука.

Наукове видання



ВІСНИК
КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА
ГЕОЛОГІЯ

Випуск 2(85)

Комп'ютерна обробка статей – О. О. Козіонова

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.

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.



Формат 60x84^{1/8}. Ум. друк. арк. 11,28. Наклад 300. **Зам. № 219-9348.**
Гарнітура Arial. Папір офсетний. Друк офсетний. Вид. № Гл2.
Підписано до друку 26.06.19

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_div.chief@univ.net.ua; redaktor@univ.net.ua
http: vpc.univ.kiev.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1103 від 31.10.02